

女川原子力発電所第2号機 工事計画審査資料	
資料番号	O2-他-F-01-0087_改0
提出年月日	2021年9月1日

女川原子力発電所第2号機
漂流物防護工の追加について
(指摘事項に対する回答)

2021年9月1日
東北電力株式会社

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計
 3. 1 漂流物防護工の構造選定
 3. 2 詳細設計
 3. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 3. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 3. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 3. 6 各部材の評価方法
 3. 7 構造成立性(評価結果)
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計
 4. 1 漂流物防護工の構造選定
 4. 2 詳細設計
 4. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 4. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 4. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 4. 6 各部材の評価方法
 4. 7 構造成立性(評価結果)
5. まとめ

(参考資料)

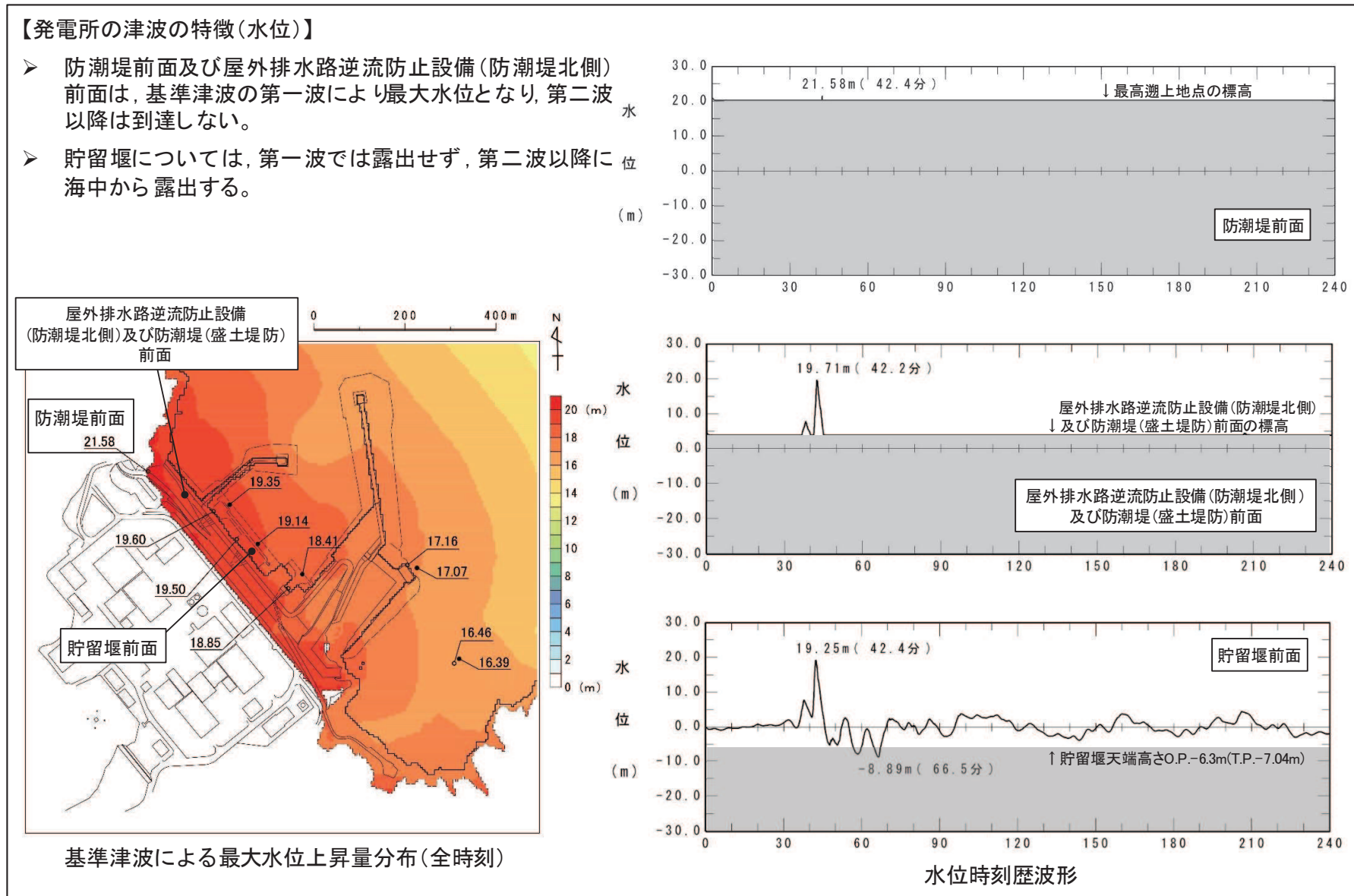
- 第993回審査会合(令和3年7月29日)において、主要説明項目(第876回審査会合(令和2年7月14日)にて説明:参考1)における詳細設計段階における設計変更内容「No.1-1 漂流物防護工の追加」について説明し、以下の指摘があったことから、指摘事項に対する回答内容を説明する。

審査会合	指摘事項
第993回審査会合 (令和3年7月29日)	防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に対する漂流物の影響要因を整理した上で、漂流物防護工の構造選定の考え方、構成する各部材に期待する役割、損傷モードを踏まえた評価の考え方及び構造成立性を説明すること。



指摘事項		回答の概要	該当する章
防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に対する漂流物の影響要因を整理	漂流物防護工の構造選定の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物による衝突は、基準津波第一波の寄せ波で生じるため、衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用する。 ✓ 海から敷地に向かう衝突荷重に抵抗する構造の漂流物防護工を防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の前面(海側)に設置する。 ✓ 漂流物防護工は、発電所の運用上の観点、現状構造の活用の観点、施工実現性の観点等から、構造を選定して詳細設計を行った。 	2章 3. 1~3. 2章 4. 1~4. 2章
	構成する各部材に期待する役割	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 漂流物防護工の構造特徴を踏まえた漂流物の影響を整理した上で、各部材に期待する役割及び損傷モードを踏まえた評価の考え方の整理を行った。 	3. 3~4. 6章 4. 3~4. 6章
	損傷モードを踏まえた評価の考え方		
構造成立性		<ul style="list-style-type: none"> ✓ 以上を踏まえ、耐震及び強度評価を行い、漂流物防護工の構造が成立することを確認した。 	3. 7章 4. 7章 5章

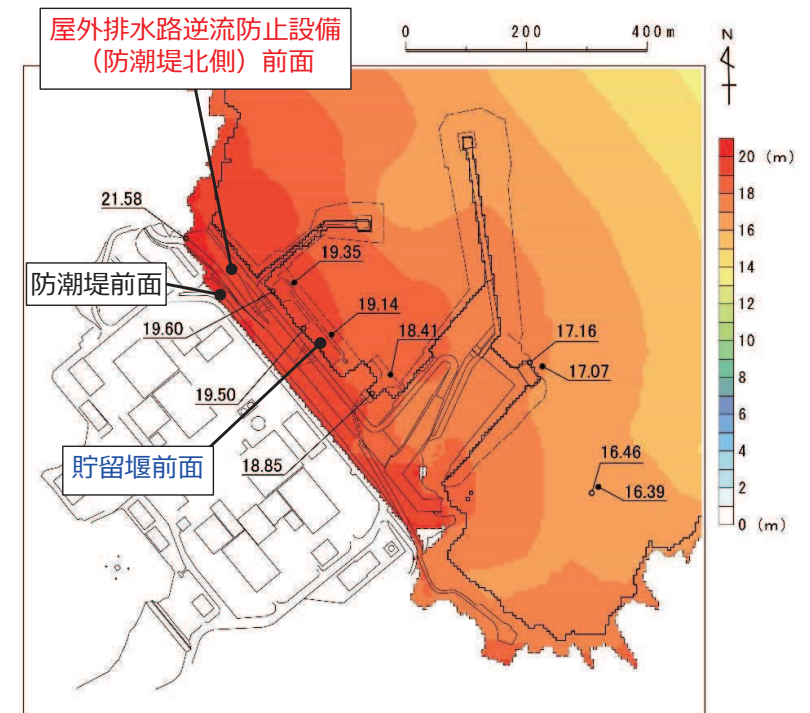
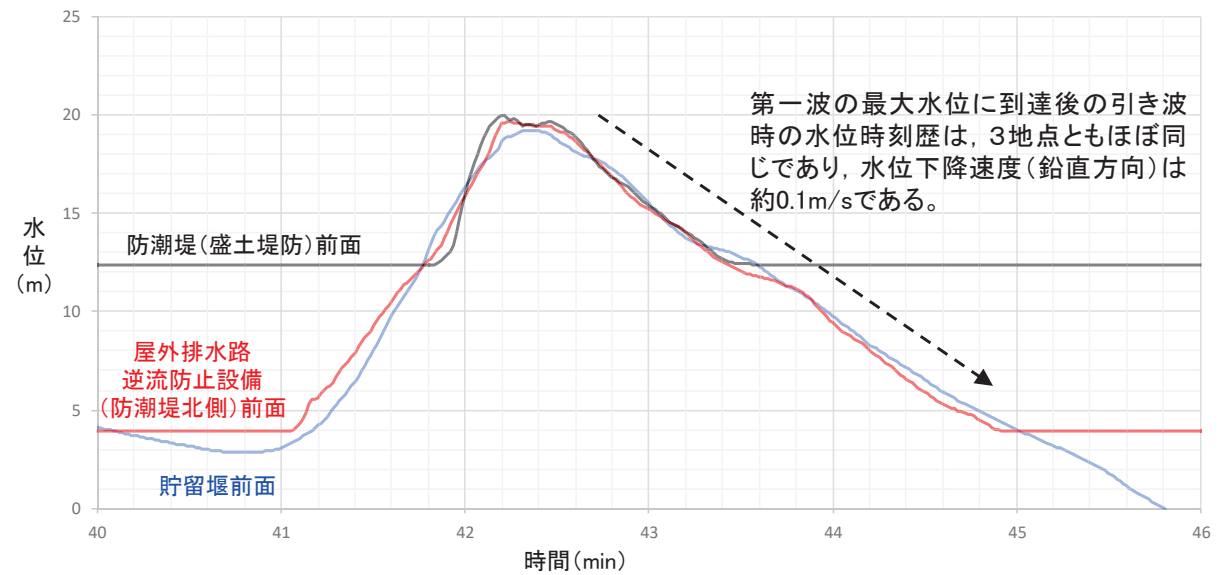
- 防潮堤前面及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)前面には、基準津波の第二波以降は到達しない(第970回審査会合にて説明)ため、漂流物による衝突荷重(以下「衝突荷重」という。)は基準津波の第一波において考慮する。



2. 漂流物による影響要因の整理

- 前頁のとおり，漂流物による衝突荷重は基準津波第一波において考慮し，寄せ波時の津波荷重と重畳させることとしている。
- 一方，引き波時の漂流物の挙動は以下のとおりであり，その影響は小さいものの，防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の設置位置の特徴を踏まえ，評価することとする。
 - ✓ 第一波来襲後の引き波時において，防潮堤（盛土堤防），屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）及び貯留堰前面での水位時刻歴はほぼ同じで，その下降速度は約0.1m/sであることから，この周辺では一様に水位が下がる特徴を有している。
 - ✓ そのため，第一波で敷地に到達する漂流物（車両及びFRP製船舶）は，引き波時に上記の下降速度で津波水位とともに緩やかに下降する。

漂流物による衝突荷重は，基準津波第一波で考慮し，主として寄せ波時（海から敷地に向かう方向）に作用することから，この荷重の特徴を踏まえて漂流物防護工の構造を検討する。



基準津波による最大水位上昇量分布

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計
 3. 1 漂流物防護工の構造選定
 3. 2 詳細設計
 3. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 3. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 3. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 3. 6 各部材の評価方法
 3. 7 構造成立性(評価結果)
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計
 4. 1 漂流物防護工の構造選定
 4. 2 詳細設計
 4. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 4. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 4. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 4. 6 各部材の評価方法
 4. 7 構造成立性(評価結果)
5. まとめ

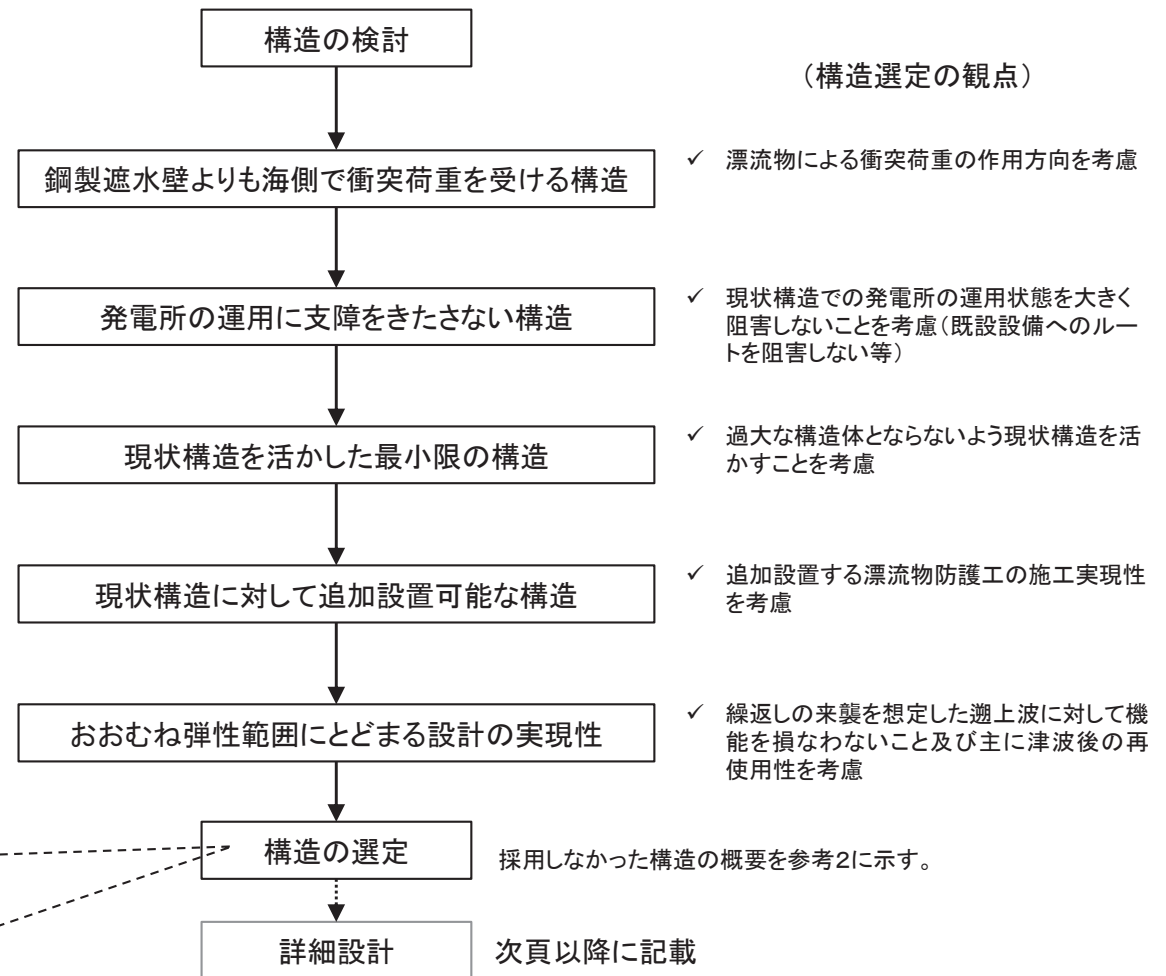
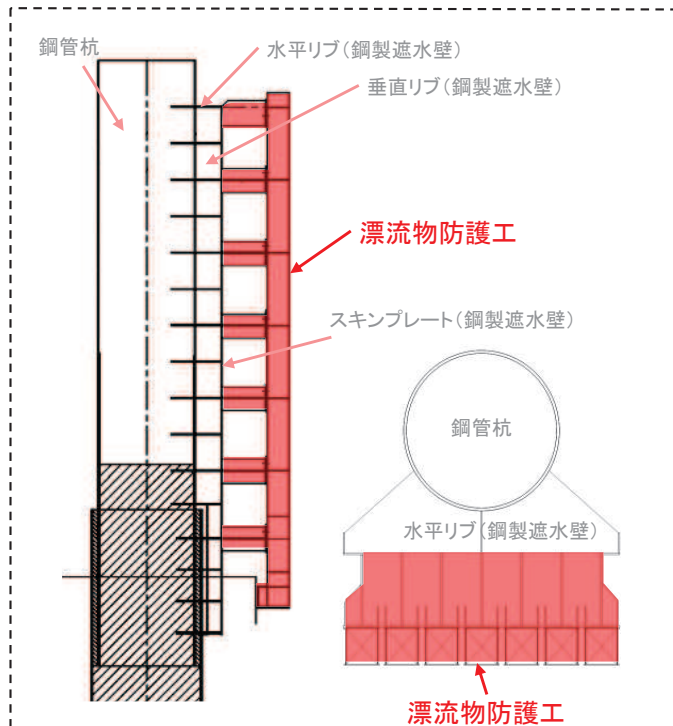
(参考資料)

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.1 漂流物防護工の構造選定(選定フロー)

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、右に示すフローのとおり制約条件を設けて、構造選定を行った。

各制約条件を踏まえ、下に示す構造を選定した。



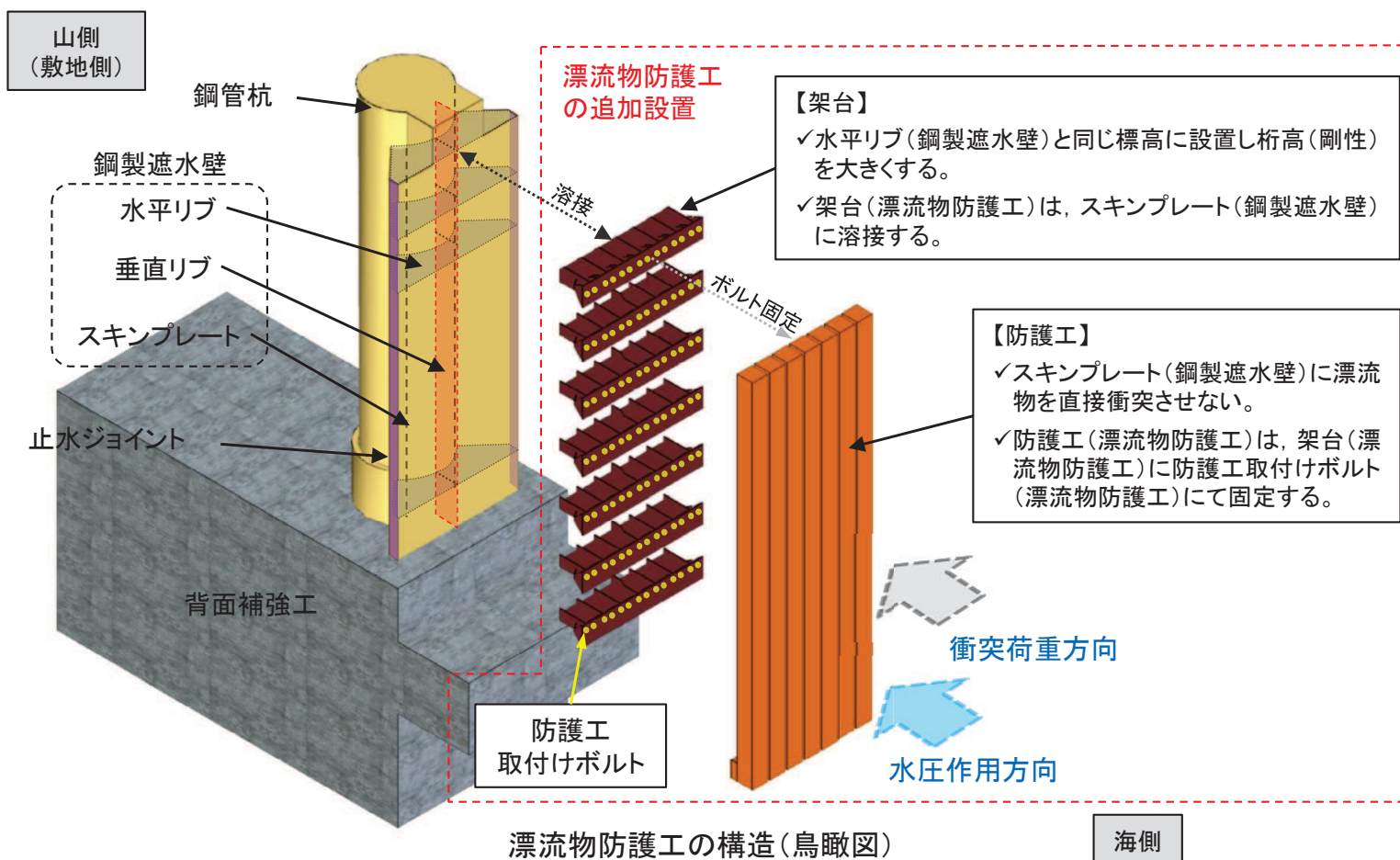
【構造の特徴】

- スキンプレート(鋼製遮水壁)前面に漂流物防護工を追加設置するため、スキンプレート及び止水ジョイントに衝突荷重は作用しない。
- 水平リブ(鋼製遮水壁)と同じ標高に、追加リブとなる架台(漂流物防護工)を追加設置するため、桁高(剛性)が大きくなり、水平リブ(鋼製遮水壁)の裕度が向上する(詳細設計で確認)。
- 追加設置する漂流物防護工は比較的軽量であるため、漂流物防護工の重量増による鋼管杭への影響(地震時及び余震重畳時)を考慮しても、構造が成立する見通しである(詳細設計で確認)。
- 追加設置する漂流物防護工は鋼管杭前面に張り出した構造となるため、偏心の影響を評価に反映する必要がある(詳細設計で確認)。

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.2 詳細設計(1/2)

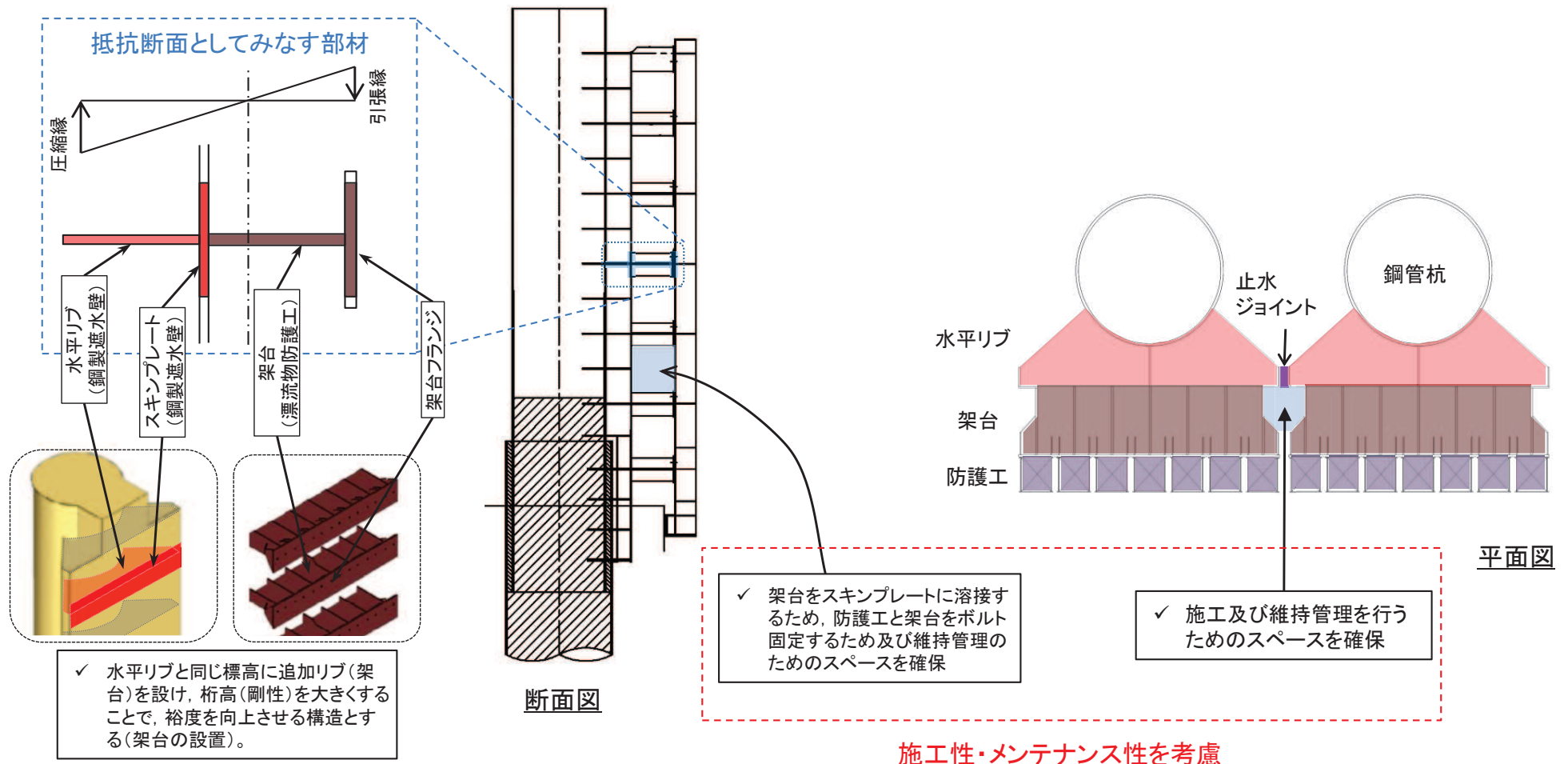
- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)に追加設置する漂流物防護工は、地震後、津波後の再使用性及び繰返しの来襲を想定した遡上波に対して機能を損なわないために、おおむね弾性範囲にとどまる設計(許容限界:短期許容応力度)とする。
- 追加設置する漂流物防護工は、架台、防護工及び防護工取付けボルトで構成され、架台はスキンプレート(鋼製遮水壁)に溶接にて固定し、防護工は架台と防護工取付けボルトにより固定する。



3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.2 詳細設計(2/2)

- ▶ 水平リブと同じ標高に追加リブ(架台)を設け、桁高(剛性)を大きくすることで、裕度を向上させる構造とする(架台の設置)。
- ▶ 漂流物防護工の形状を決めるに当たっては、施工性及びメンテナンス性を考慮し、空間を設けることとした。



3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

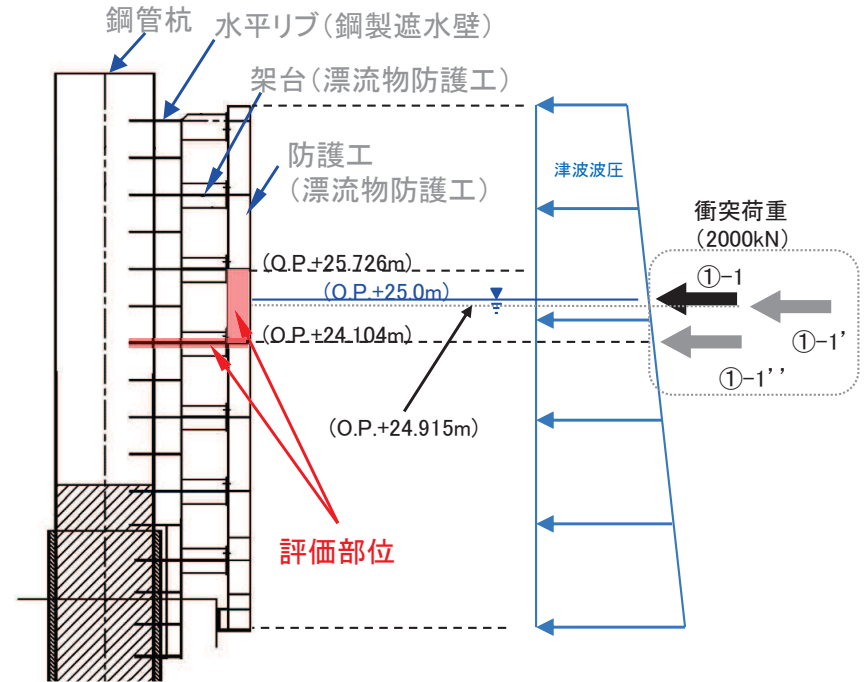
3.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法

- 追加設置する漂流物防護工の詳細設計を踏まえ、各部材に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行う。
- 衝突荷重の作用位置は、設計用津波水位 (O.P.+25.0m) を基本として考慮するが、各部材にとって最も厳しい条件となるよう作用位置を設定する (防護工:①-1', 架台及び水平リブ:①-1'')。
- また、架台については、衝突荷重の作用位置として水平方向も厳しい条件となるよう設定する(①-2)。
- なお、鋼管杭を評価対象とした場合の衝突荷重の作用方法については参考3に示す。

防護工、架台及び水平リブを対象とした衝突荷重の作用方法

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 津波水位O.P.+25.0mと 同じ位置に衝突	防護工の中心又は架台位置と異なることから、これらの評価としては最も厳しい条件とはならない。	—
①-1' 防護工の中心位置 (O.P.+24.915m)に衝突	漂流物の形状の不確かさを考慮し、設計用津波水位 O.P.+25.0m に近い位置である防護工の中心 (O.P.+24.915m) に作用させた場合であり、防護工を対象とした場合、最も厳しい荷重条件となる。	○
①-1'' 架台位置 (O.P.+24.104m)に衝突	漂流物の形状の不確かさを考慮し、設計用津波水位 O.P.+25.0m よりも下方*の架台位置 (O.P.+24.104m) に作用させた場合であり、架台及び水平リブを対象とした場合、最も厳しい荷重条件となる。	○

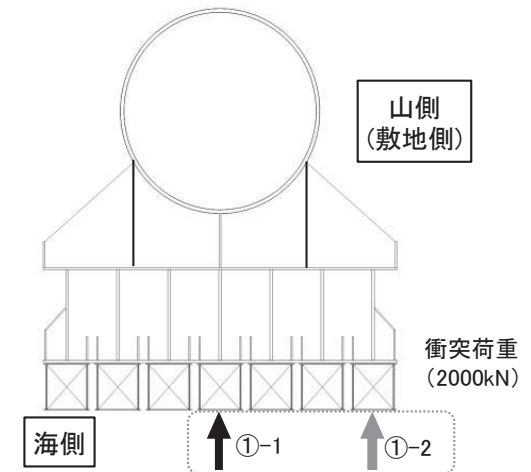
注記* : 上方の架台とした場合には津波波圧が小さくなるため、下方の架台を選定した。



架台を対象とした衝突荷重の作用方法(その2)

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 鋼管杭中心に衝突	架台を、鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばり*と仮定した場合、固定端に荷重が作用することになり、評価としては最も厳しい条件とはならない。	—
①-2 防護工端部に衝突	架台を、鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばり*と仮定した場合、自由端側に荷重が作用することになり、最も厳しい条件となる。	○

注記* : 鋼管杭中心線を固定端とした片持ちばりの詳細はp14を参照。



3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割

➤ 漂流物防護工を構成する防護工、架台及び防護工取付けボルトについて、設計上期待する役割を下表に示す。

部材	防護工	架台	防護工取付けボルト
支持	—	防護工を支持	防護工を支持 (引張荷重又はせん断荷重発生時)
主に受け持つ荷重	衝突荷重が直接作用	防護工からの荷重が作用	防護工からの引張荷重又はせん断荷重が作用
設計上期待する役割 (部位を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 防護工の剛性により衝突荷重を架台に伝達し、スキムプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工が受けた荷重を水平リブ(鋼製遮水壁)に伝達する。 鋼管杭中心を固定端とした片持ち梁を考えたときに、桁高を大きくすることで断面係数を大きくし、裕度を向上させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工が受けた引張荷重又はせん断荷重を架台に伝達する。
荷重伝達のイメージ			

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方

- ▶ 漂流物防護工を構成する防護工、架台及び防護工取付けボルトの損傷モードと損傷モードを踏まえた評価の考え方を下表に示す。
- ▶ なお、漂流物防護工は衝突荷重に抵抗する目的で設置するものであるが、地震時及び余震重畳時においても、構造健全性を確認する必要があることから、これらの事象に対する評価の考え方も整理した。

部材	要求機能を喪失する事象(損傷モード)	損傷モードを踏まえた評価の考え方	想定する事象において考慮する主な荷重		
			地震時	津波時	余震重畳時
防護工	<ul style="list-style-type: none"> 防護工に作用する荷重により防護工が損傷し、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工に荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考4】*1	津波荷重 衝突荷重 【3.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考4】*1
架台	<ul style="list-style-type: none"> 架台に作用する荷重により架台が損傷して防護工を支持できなくなり、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 架台に荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考4】*1	津波荷重 衝突荷重 【3.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考4】*1
防護工取付けボルト	<ul style="list-style-type: none"> 防護工取付けボルトに作用する引張力又はせん断力により防護工取付けボルトが損傷して防護工を支持できなくなり、鋼製遮水壁に漂流物が衝突することで鋼製遮水壁の遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護工取付けボルトに荷重が作用するいずれの事象においても、防護工が短期許容応力度以下であることを確認する。 	地震荷重 【参考4】*1	— *2	— *3

注記*1:【】内は評価方法の記載個所を示す。

*2: 衝突荷重が斜めから作用する場合には、影響検討として評価を行う。

*3: 津波遡上荷重と余震荷重の動水圧は防護工を押し付ける方向に作用するため無視でき、Sd-D2よりもSsの地震力の方が大きいため、地震時評価に包絡されるとした。

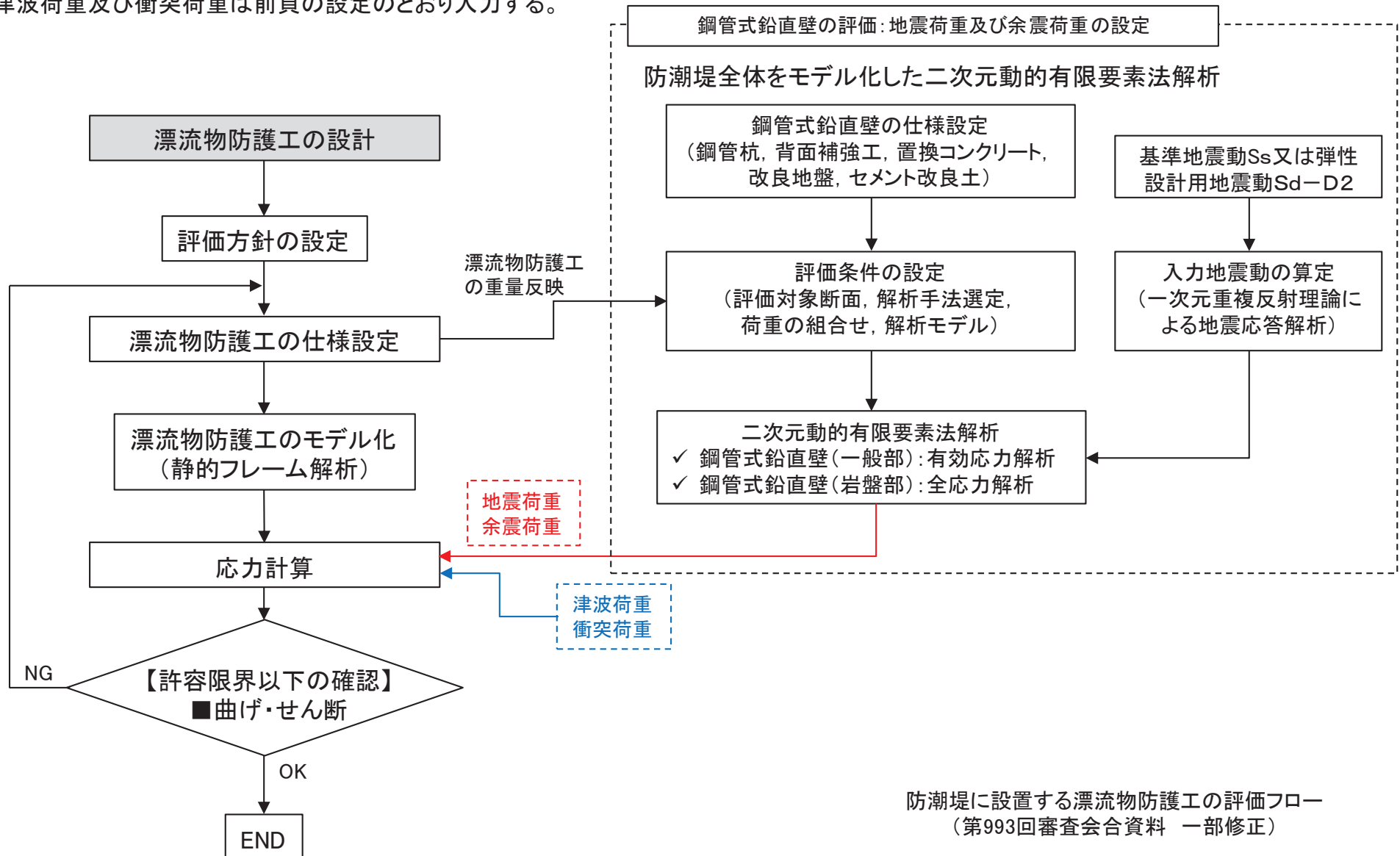
考慮する荷重の詳細

荷重の種類	荷重の内容
風荷重	設計基準風速を30m/sとし、建築基準法に基づき算定する。
地震荷重	基準地震動Ssによる荷重を考慮する。
津波荷重	津波荷重については、風荷重を含めた荷重とするため、防潮堤前面における入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮した津波水位O.P.+25.0mを用いることとし、朝倉式に基づき、その3倍を考慮して算定する。
衝突荷重	2.15tの車両を対象に「FEMA(2012)」式による漂流物荷重に余裕を考慮して2000kNを考慮する。
余震荷重	弾性設計用地震動Sd-D2による地震力及び動水圧を考慮する。

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法

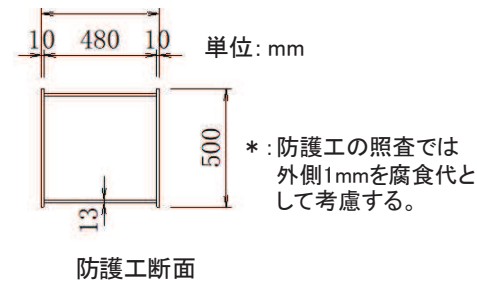
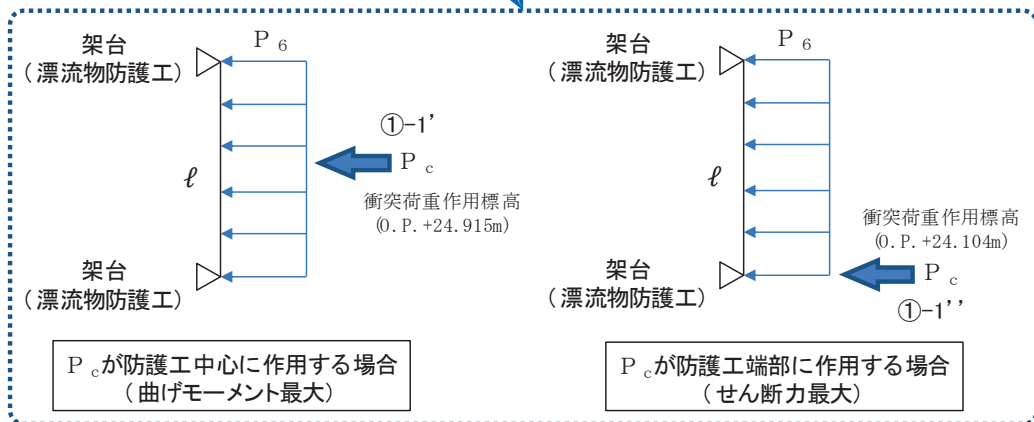
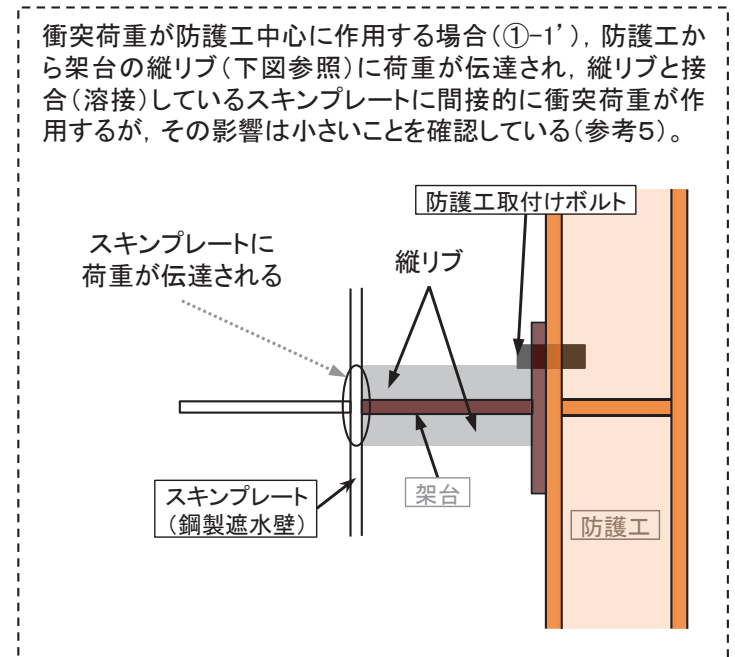
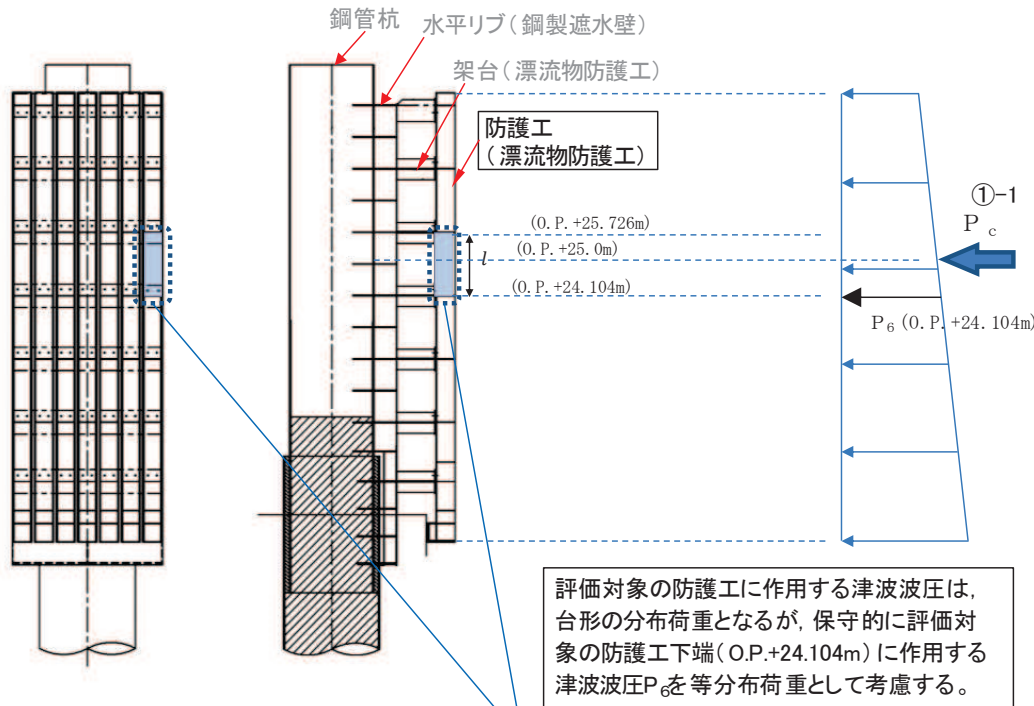
- 各部材に期待する役割及び損傷モードを踏まえ、各部材の評価方法を設定する。
- 防潮堤に設置する漂流物防護工の評価フローを下図に示す。
- 漂流物防護工の評価に考慮する地震荷重及び余震荷重については、防潮堤全体をモデル化した二次元動的有限要素法解析の応答結果を用いて算定し、漂流物防護工の静的フレーム解析に入力する。
- 津波荷重及び衝突荷重は前頁の設定のとおり入力する。



3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法(防護工:津波時)

- 衝突荷重を考慮する津波時において、防護工は架台を支点とする単純ばりでモデル化し、衝突荷重は「3.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法」で整理したとおり、防護工に対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)。
- なお、防護工の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考4に示す。



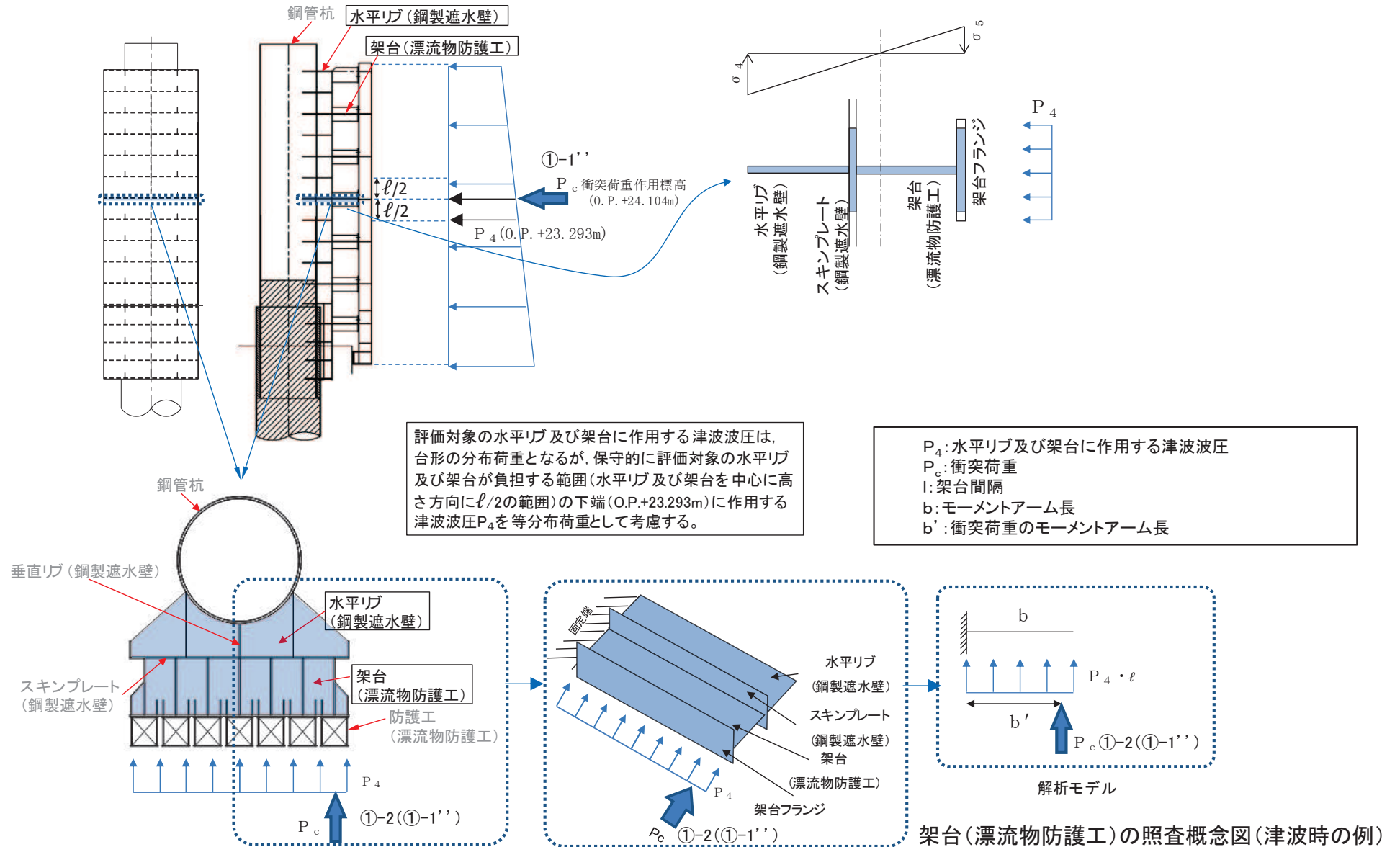
P_6 : 水平リブ及び架台に作用する津波波圧
 P_c : 衝突荷重
 ℓ : 架台間隔

解析モデル
防護工(漂流物防護工)の照査概念図(津波時の例)

3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.6 各部材の評価方法(架台:津波時)

- 衝突荷重を考慮する津波時において、架台は水平方向の鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化し、水平リブ(鋼製遮水壁)と一体構造として評価を行う。衝突荷重は、「3.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法」で整理したとおり、架台に対して安全側の設定を行う。
- なお、架台の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考4に示す。



3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計

3.7 構造成立性(津波時の評価結果)

- 衝突荷重を考慮する津波時の漂流物防護工の各部材の評価結果を下表に示す。なお、地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果は参考6に示す。
- 漂流物防護工の各部材は、いずれの事象においても発生する応力が許容限界以下であることを確認した。

防潮堤のうち漂流物防護工の評価結果

部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
津波時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	275	382	0.71
			せん断応力度 (N/mm ²)	179	217	0.83
			合成応力度	0.68	1.20	0.57
	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	169	315	0.54
			せん断応力度 (N/mm ²)	68	180	0.38
			合成応力度	0.43	1.20	0.36

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

1. 本日のご説明内容
2. 漂流物による影響要因の整理
3. 防潮堤に設置する漂流物防護工の設計
 3. 1 漂流物防護工の構造選定
 3. 2 詳細設計
 3. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 3. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 3. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 3. 6 各部材の評価方法
 3. 7 構造成立性(評価結果)
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計
 4. 1 漂流物防護工の構造選定
 4. 2 詳細設計
 4. 3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法
 4. 4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割
 4. 5 損傷モードを踏まえた評価の考え方
 4. 6 各部材の評価方法
 4. 7 構造成立性(評価結果)

5. まとめ

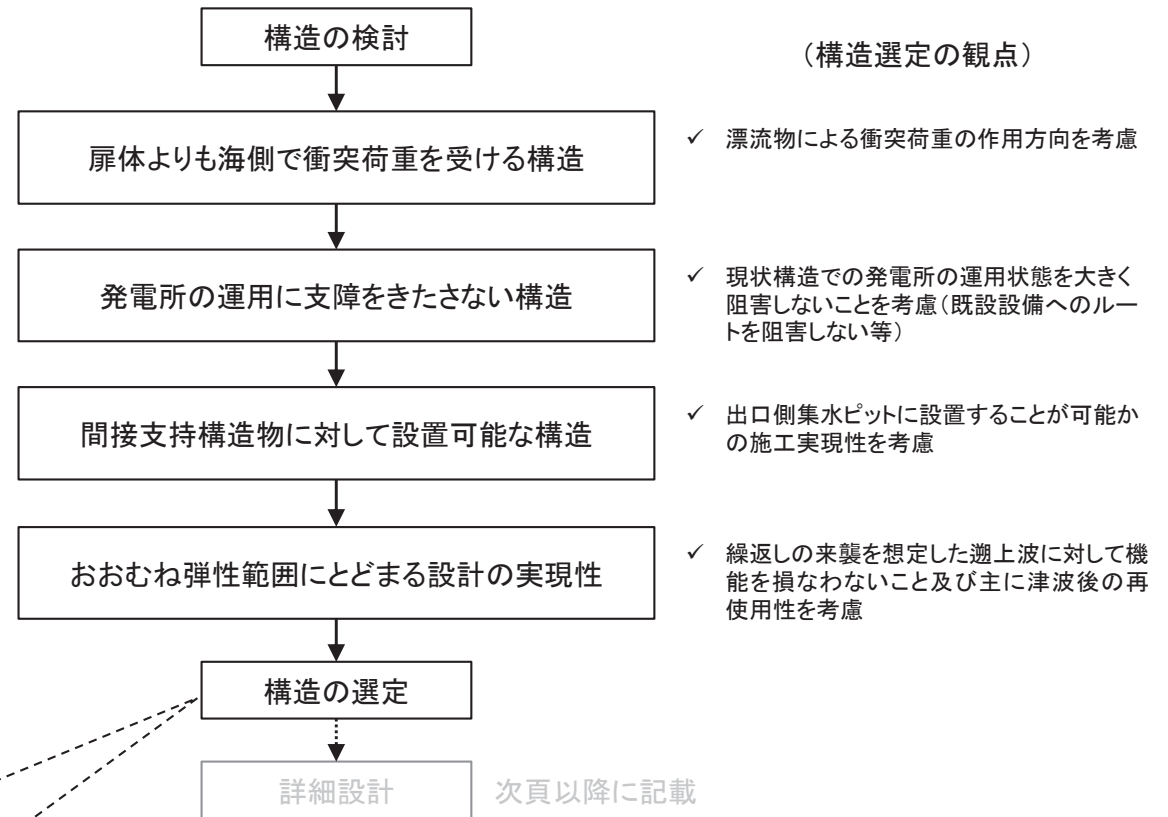
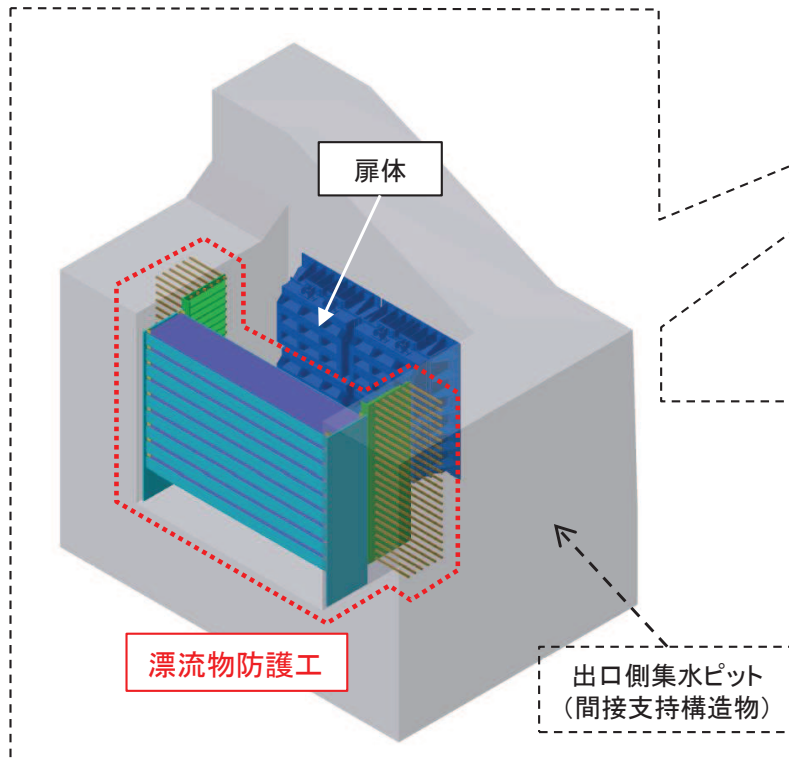
(参考資料)

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.1 漂流物防護工の構造選定(選定フロー)

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)漂流物防護工は、右に示すフローのとおり制約条件を設けて、構造選定を行った。

各制約条件を踏まえ、下に示す構造を選定した。

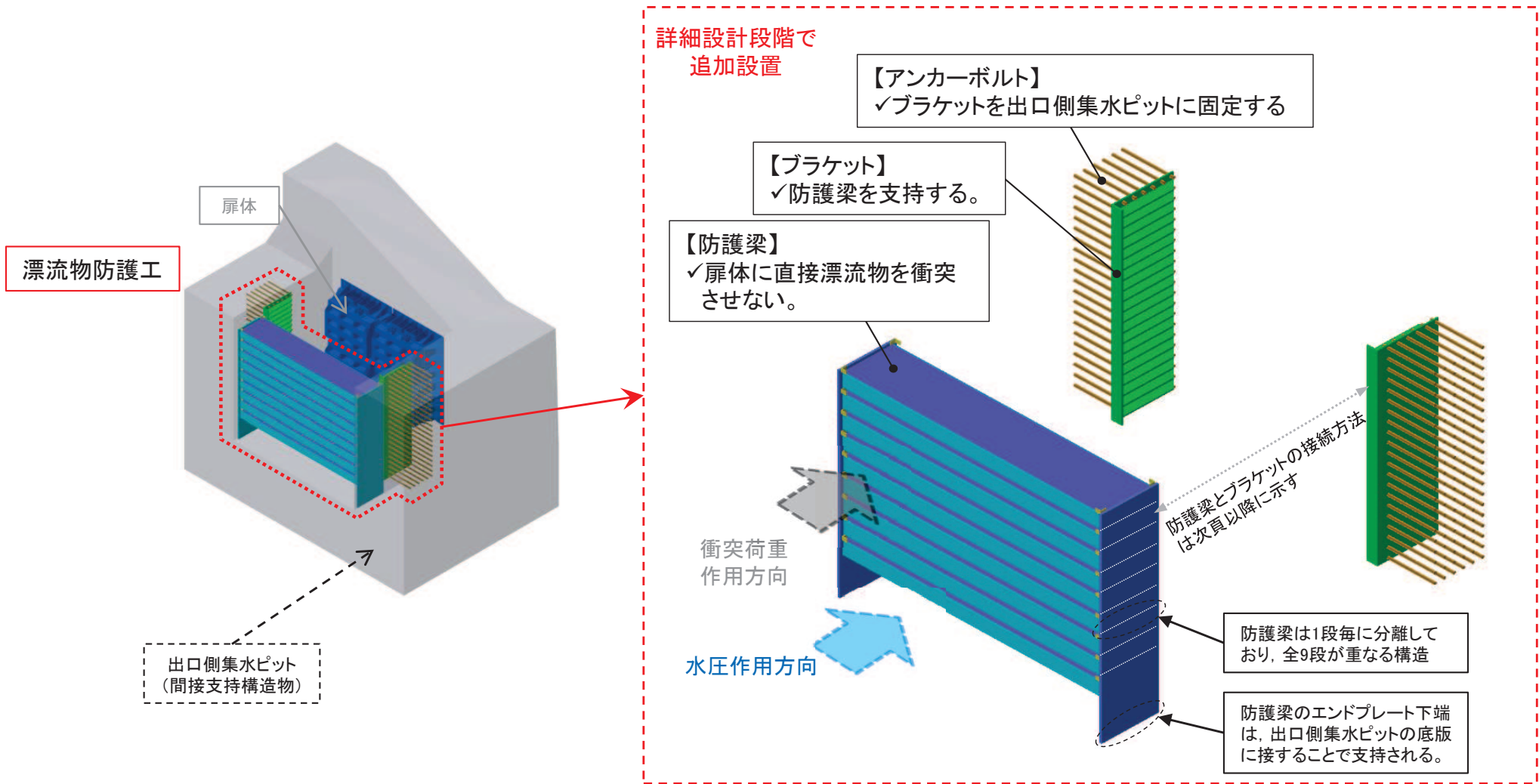


【構造の特徴】

- 扉体前面に漂流物防護工を設置するため、漂流物防護工以外の部位に衝突荷重は作用しない。
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)は防潮堤(盛土堤防)よりも海側にあり、漂流物防護工の敷地側は扉体との間に空間があるため、基準津波第一波の引き波による影響を評価する必要がある。

4.2 詳細設計(1/2)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に追加設置する漂流物防護工は、地震後、津波後の再使用性及び繰返しの来襲を想定した遡上波に対して機能を損なわないために、おおむね弾性範囲にとどまる設計(許容限界:短期許容応力度)とする。
- 漂流物防護工は、主に防護梁及びブラケットで構成され、ブラケットはアンカーボルトで間接支持構造物である出口側集水ピットに固定される。また、防護梁とブラケットの接続詳細は次頁以降に示す。

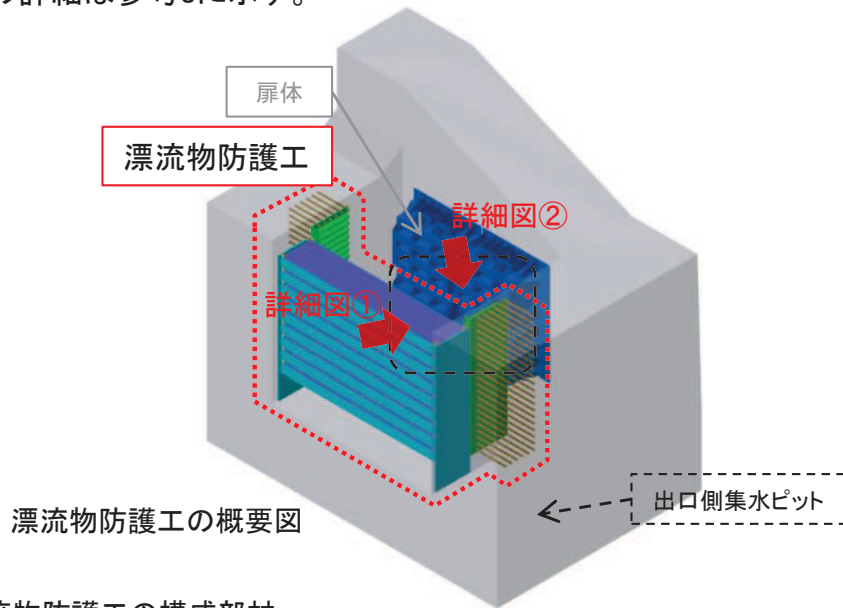


4.2 詳細設計(2/2)

- 防護梁は主たる荷重である津波荷重(海→山方向)を受けた場合に、防護梁端部のエンドプレートがブラケットと接触することで、支持される。一方、防護梁が山→海方向の荷重を受けた場合には、つなぎ材(ボルト)にてブラケットに支持される。

(つなぎ材(ボルト)は圧縮方向(海→山方向の荷重)にはフリーとなる構造であり、防護梁が海側への荷重を受けた場合にのみ荷重を受け持つ。)

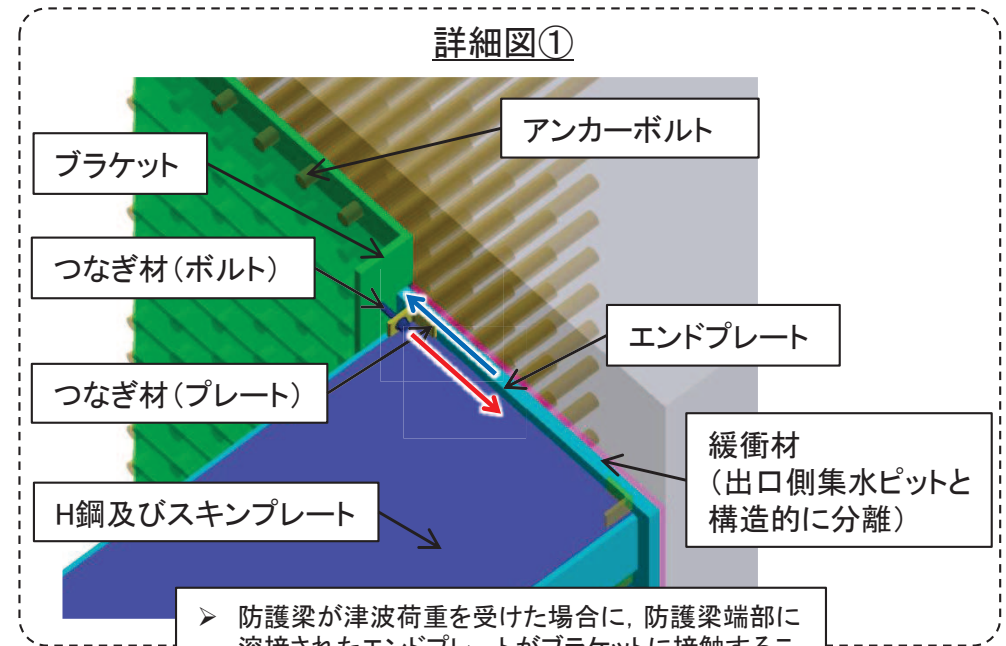
- 各部材の詳細は参考8に示す。



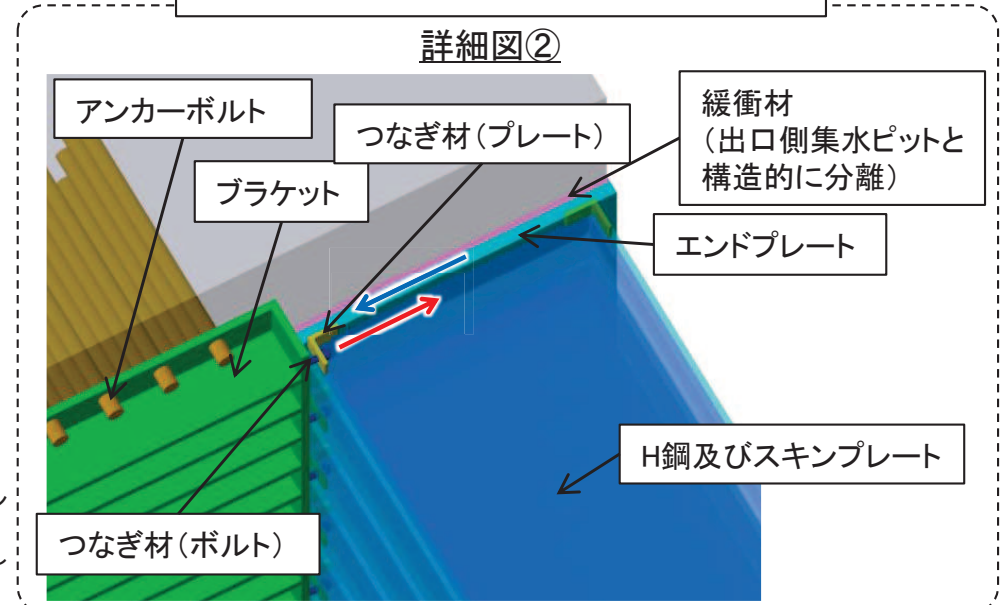
漂流物防護工の構成部材

部位	部材	
漂流物防護工	防護梁*1	H鋼
		スキンプレート*2
		エンドプレート
		つなぎ材(プレート)
	ブラケット	
	つなぎ材(ボルト)	
	アンカーボルト	

注記*1: 防護梁はH鋼、スキンプレート及びエンドプレートによって中空構造となる。
 *2: 通常排水時の整流板としての配慮として設置するため、照査には考慮しない。



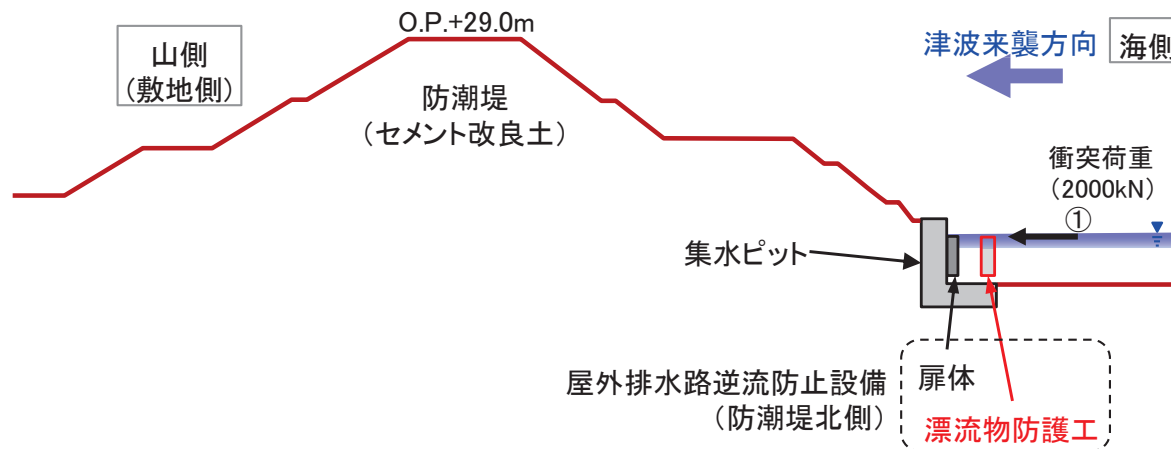
- 防護梁が津波荷重を受けた場合に、防護梁端部に溶接されたエンドプレートがブラケットに接触することで支持される構造(単純梁)とする(青矢印)。
- つなぎ材は圧縮方向にはボルトがフリーとなる構造となっており、防護梁が海側への荷重を受けた場合にのみ荷重を受け持つ(赤矢印)。



4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法(寄せ波時)

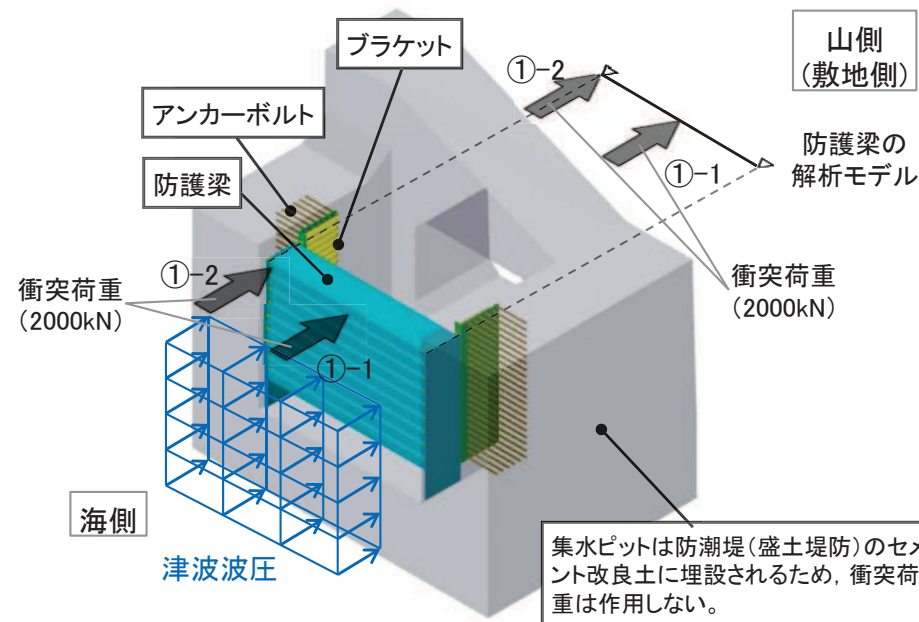
- ▶ 漂流物防護工を構成する各部材の評価において、それぞれの部位に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行うこととし、防護梁は衝突荷重が作用する水平位置によって評価が異なることから、最も厳しい条件になるように作用位置を設定する(①-1, ①-2)。
- ▶ 以下に、寄せ波時の衝突荷重の作用方法を示す。



寄せ波時の衝突荷重の作用方法(防護梁水平位置*)

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 防護梁の中央に衝突	防護梁の中央位置に衝突荷重を作用させた場合であり、防護梁の曲げモーメントが最大となる。	○
①-2 防護梁の端部に衝突	防護梁の端部に衝突荷重を作用させた場合であり、防護梁のせん断応力が最大となる。	○

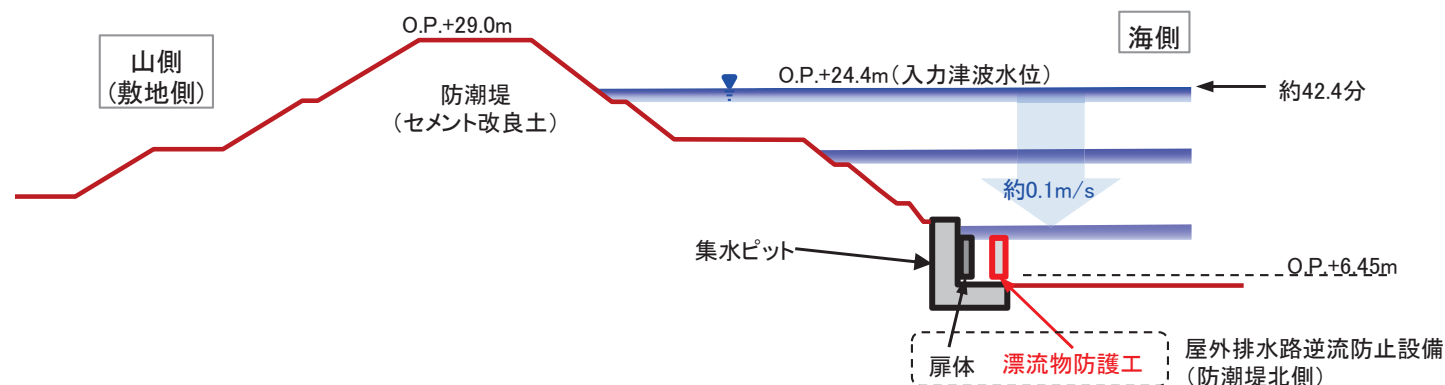
注記* : 鉛直位置については、同時に考慮する津波荷重が最大となるように、最上段に衝突することを想定。



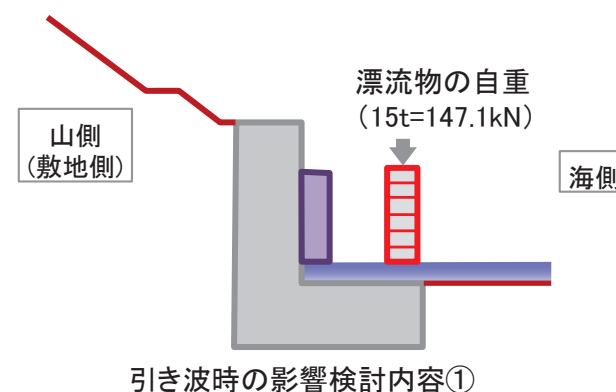
4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法(引き波時)

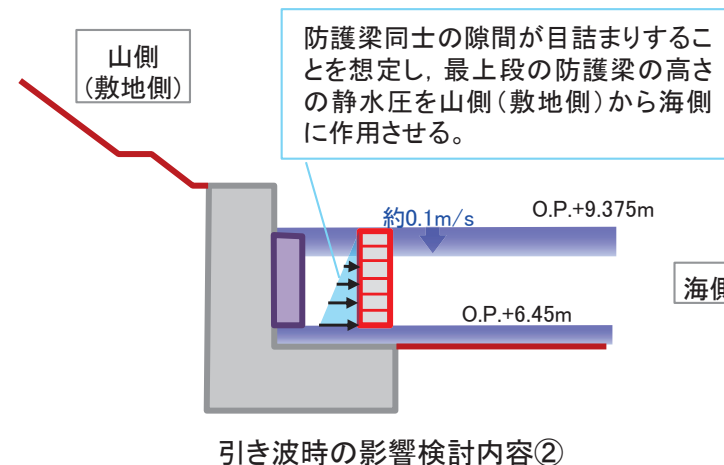
- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)周辺における引き波時の水位下降イメージは右図のとおりである。
- この引き波の特徴を踏まえ、以下の検討を行うこととする。



- 基準津波の第一波で防潮堤付近まで到達した漂流物は、その後の引き波(海方向への流れ)によって、敷地側から屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)の漂流物防護工に衝突する可能性があるが、「1. 漂流物による影響要因の整理」のとおり、引き波時の下降速度は約0.1m/sで非常に緩やかであり、津波水位が下降する間に屋外排水路逆流防止設備の上方を通過してしまうことから衝突しない。
- ただし、引き波時の水位の下降に伴い防護梁の上部に漂流物が残置される可能性は否定できないため、第一波で敷地に到達する漂流物の中から、最大の重量であるFRP製船舶(総トン数5t(排水トン数15t))の自重を考慮した場合の影響を確認する(右図:引き波時の影響検討内容①)。



- 第一波来襲後の引き波時は、水位の下降速度が約0.1m/sで非常に緩やかであること、防護梁同士は鉛直方向に隙間を設けて設置することから、防護梁の隙間から海水は海側に流出し、防護梁の山側と海側では水位差はほとんど生じない。そのため、防護梁に山側(敷地側)からの水圧はほとんど作用しない。
- また、第一波来襲後の引き波時に、防護梁の山側(出口側集水ピット内)にはがれきを取り込まれる可能性があるが、防護梁の山側と海側ではほとんど水位差がないため、漂流物が防護梁に影響を及ぼすことはない。
- ただし、防護梁の山側に取り込まれたがれきが防護梁同士の隙間に挟まる可能性は否定できないため、防護梁の隙間がすべてがれきで目詰まりすることを想定し、最上段の防護梁から最下段の防護梁までの高さの静水圧を山側(敷地側)から作用させた場合の影響について確認する(右図:引き波時の影響検討内容②)。



4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割(寄せ波時)

➤ 寄せ波時に、漂流物防護工を構成する各部材について、設計上期待する役割を下表に示す。

部材z	防護梁	ブラケット	アンカーボルト
	H鋼及びエンドプレート		
支持	—	防護梁を支持	ブラケットを支持
主に受け持つ荷重	<ul style="list-style-type: none"> 衝突荷重が直接作用 	防護梁(エンドプレート)からの荷重が作用	ブラケットからの荷重が作用
設計上期待する役割(部位を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁の剛性により衝突荷重をブラケットに伝達し、扉体に漂流物を衝突させない。 鉛直方向荷重を出口側集水ピットに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットの剛性によりエンドプレートからの荷重をアンカーボルトに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトの剛性によりブラケットからの荷重を出口側集水ピットに伝達する。
荷重伝達のイメージ	<p>【寄せ波時】</p> <p>The diagram illustrates the load transfer mechanism during a surge wave event. It consists of three parts: a plan view (平面図) and two cross-sectional views. The plan view shows an H-beam (H鋼) supported by two brackets (ブラケット) which are attached to end plates (エンドプレート). A red arrow indicates the impact load (衝突荷重) acting on the H-beam. The cross-sectional views show the H-beam connected to the bracket via a connecting material (つなぎ材) and bolts (ボルト). The bracket is supported by anchor bolts (アンカーボルト) which are embedded in the end plate. The end plate is connected to the H-beam. The anchor bolts transfer the load from the bracket to the end plate, which then transfers it to the H-beam. The H-beam then transfers the load to the outlet collection pit (出口側集水ピット). The diagram also shows the H-beam and end plate connected to the bracket via connecting material and bolts.</p>		

注記* : つなぎ材(ボルト)は圧縮方向にフリーとなる構造のため、寄せ波時には荷重が作用しない。

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.4 漂流物防護工を構成する各部材に期待する役割(引き波時)

- 引き波時に、漂流物防護工を構成する各部材について、設計上期待する役割を下表に示す。
- なお、ブラケット及びアンカーボルトは寄せ波時に示す役割と同様であるため、記載を省略する(荷重作用方向は逆向きとなる)。

部材	防護梁		つなぎ材(ボルト)
	H鋼及びエンドプレート	つなぎ材(プレート)	
支持	—	H鋼及びエンドプレートを支持 (山→海方向荷重(地震時又は引き波時)作用時)	防護梁を支持 (山→海方向荷重(地震時又は引き波時)作用時)
主に受け持つ荷重	<ul style="list-style-type: none"> 引き波時の水圧が作用 	H鋼及びエンドプレートからの荷重が作用	防護梁からの荷重が作用
設計上期待する役割(部位を設置した目的)	<ul style="list-style-type: none"> 引き波時の荷重をつなぎ材(プレート)に伝達する。 鉛直方向荷重を出口側集水ピットに伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(プレート)の剛性によりH鋼及びエンドプレートからの荷重をつなぎ材(ボルト)に伝達する。 	<ul style="list-style-type: none"> ボルトの剛性によりつなぎ材(プレート)からの荷重をブラケットに伝達する。
荷重伝達のイメージ	<p>【引き波時】</p> <p>平面図</p>		<p>正面図</p>
	<p>【漂流物自重(引き波時)】</p>		

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.5 損傷モードを踏まえた評価の考え方

➤ 漂流物防護工を構成する防護梁, ブラケット, つなぎ材(ボルト)及びアンカーボルトの損傷モードと損傷モードを踏まえた評価の考え方を以下に示す。

部材	要求機能を喪失する事象(損傷モード)	損傷モードを踏まえた評価の考え方	想定する事象において考慮する主な荷重			
			地震時	津波時 (寄せ波)	津波時 (引き波)	余震重畳時
防護梁	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁に作用する荷重により防護梁が損傷し, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> 防護梁に荷重が作用するいずれの事象においても, 防護梁が短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考9】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重①② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考9】*1
ブラケット	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットに作用する荷重によりブラケットが損傷し, 防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> ブラケットに荷重が作用するいずれの事象においても, ブラケットが短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考9】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考9】*1
つなぎ材 (ボルト)	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(ボルト)に作用する荷重によりつなぎ材が損傷し, 防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> つなぎ材(ボルト)に荷重が作用するいずれの事象においても, つなぎ材(ボルト)が短期許容応力度以下であることを確認する。 	地震荷重 【参考9】*1	—*2	引き波荷重② 【4.6】*1	—*3
アンカー ボルト	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトに作用する荷重によりアンカーボルトが損傷し, ブラケット及び防護梁を支持できなくなり, 扉体に漂流物が衝突することで遮水性を喪失する。 	<ul style="list-style-type: none"> アンカーボルトに荷重が作用するいずれの事象においても, アンカーボルトが短期許容応力度以下であることを確認する。 	風荷重 地震荷重 【参考9】*1	津波荷重 衝突荷重 【4.6】*1	引き波荷重② 【4.6】*1	津波荷重 余震荷重 【参考9】*1

注記 *1:【】内は評価方法の記載個所を示す。

*2: つなぎ材(ボルト)は圧縮方向にフリーとなる構造のため, 寄せ波時には荷重が作用しない。

*3: 津波遡上荷重が支配的であり, 防護梁が押し付ける方向に作用するため, つなぎ材(ボルト)には荷重が作用しないことから, 評価を省略する。

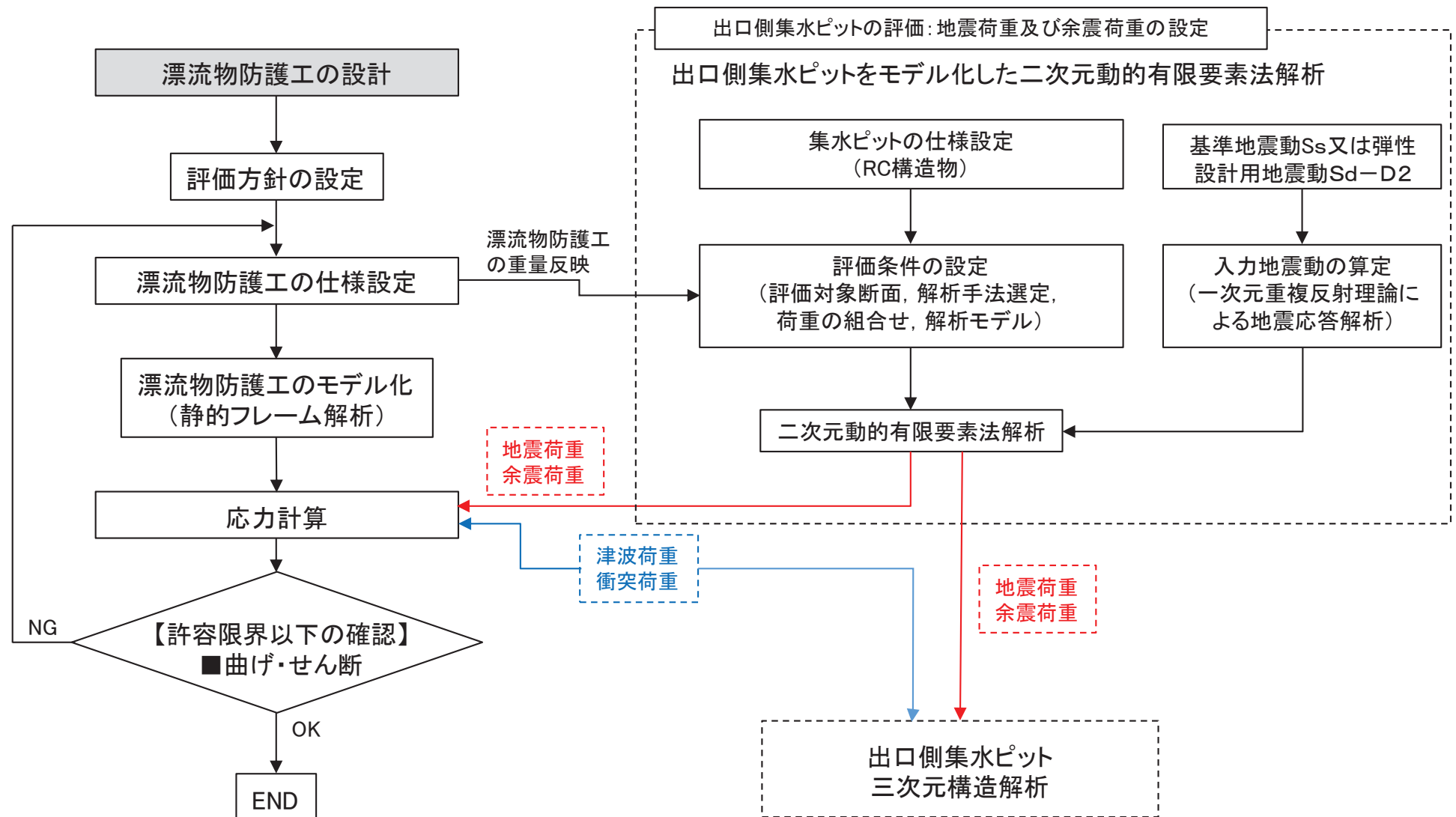
荷重の種類	荷重の内容
風荷重	設計基準風速を30m/sとし, 建築基準法に基づき算定する。
地震荷重	基準地震動Ssによる荷重を考慮する。
津波荷重	津波荷重については, 衝突荷重との重畳を考慮するため, 津波水位O.P.+9.9mを用いることとし, 朝倉式に基づき, その3倍を考慮して算定する。余震重畳時の津波荷重については, 防潮堤前面における入力津波水位O.P.+24.4mに余裕を考慮した津波水位O.P.+25.0mを用いることとし, 朝倉式に基づき, その3倍を考慮して算定する。
衝突荷重	2.15tの車両を対象に「FEMA(2012)」式による漂流物荷重に余裕を考慮して2000kNを考慮する。
余震荷重	弾性設計用地震動Sd-D2による地震力及び動水圧を考慮する。
引き波荷重	①FRP製船舶の自重(15t), ②山側(敷地側)→海側への静水圧を考慮する。

考慮する荷重の詳細

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.6 各部材の評価方法(評価フロー)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の評価フローを下図に示す。
- 漂流物防護工の評価に考慮する地震荷重及び余震荷重については、出口側集水ピットをモデル化した二次元動的有限要素法解析の応答結果を用いて算定し、漂流物防護工の静的フレーム解析に入力する。
- 津波荷重及び衝突荷重は前頁の設定のとおり入力する。

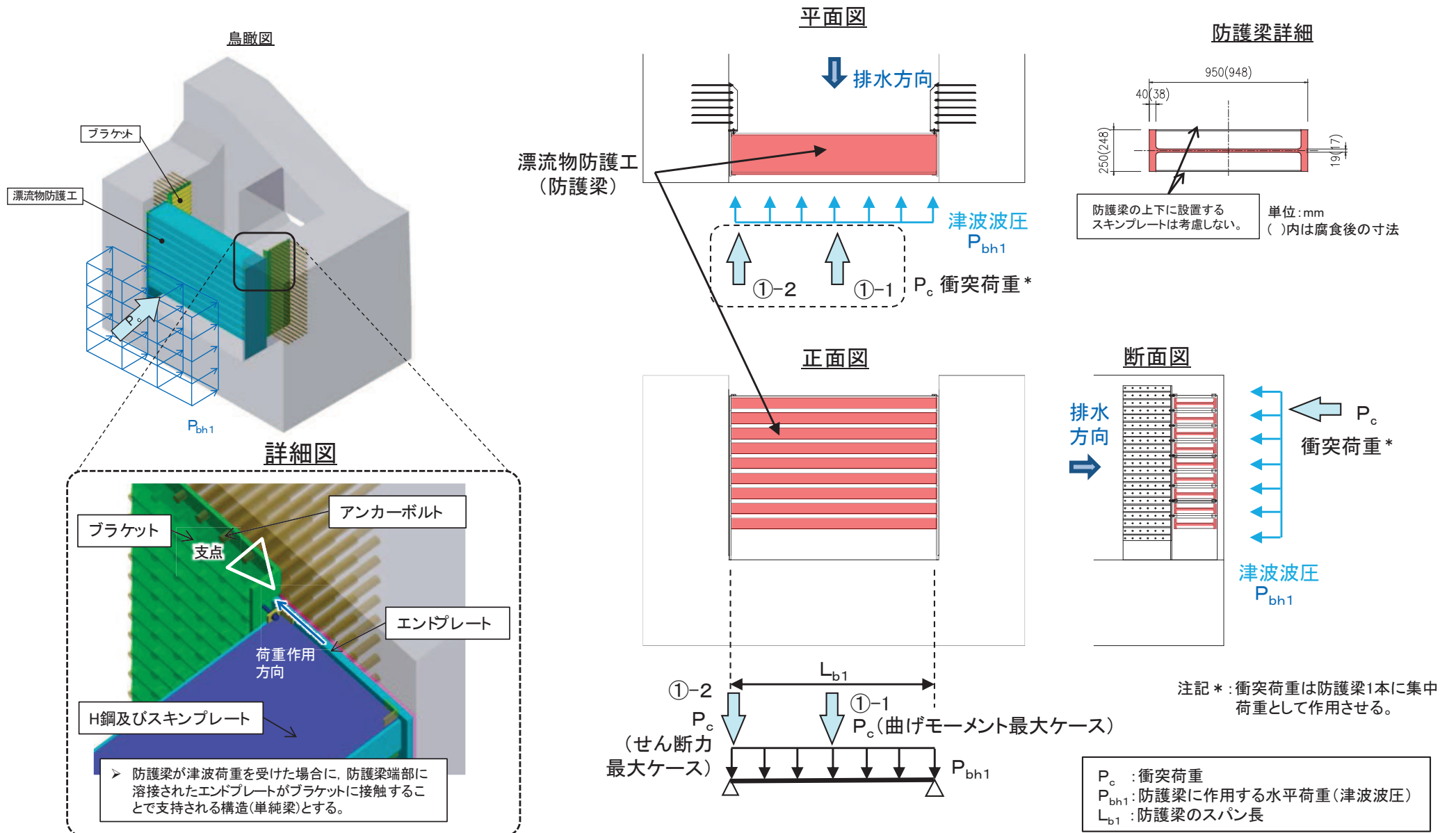


屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する
漂流物防護工の評価フロー

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.6 各部材の評価方法(防護梁:津波時)

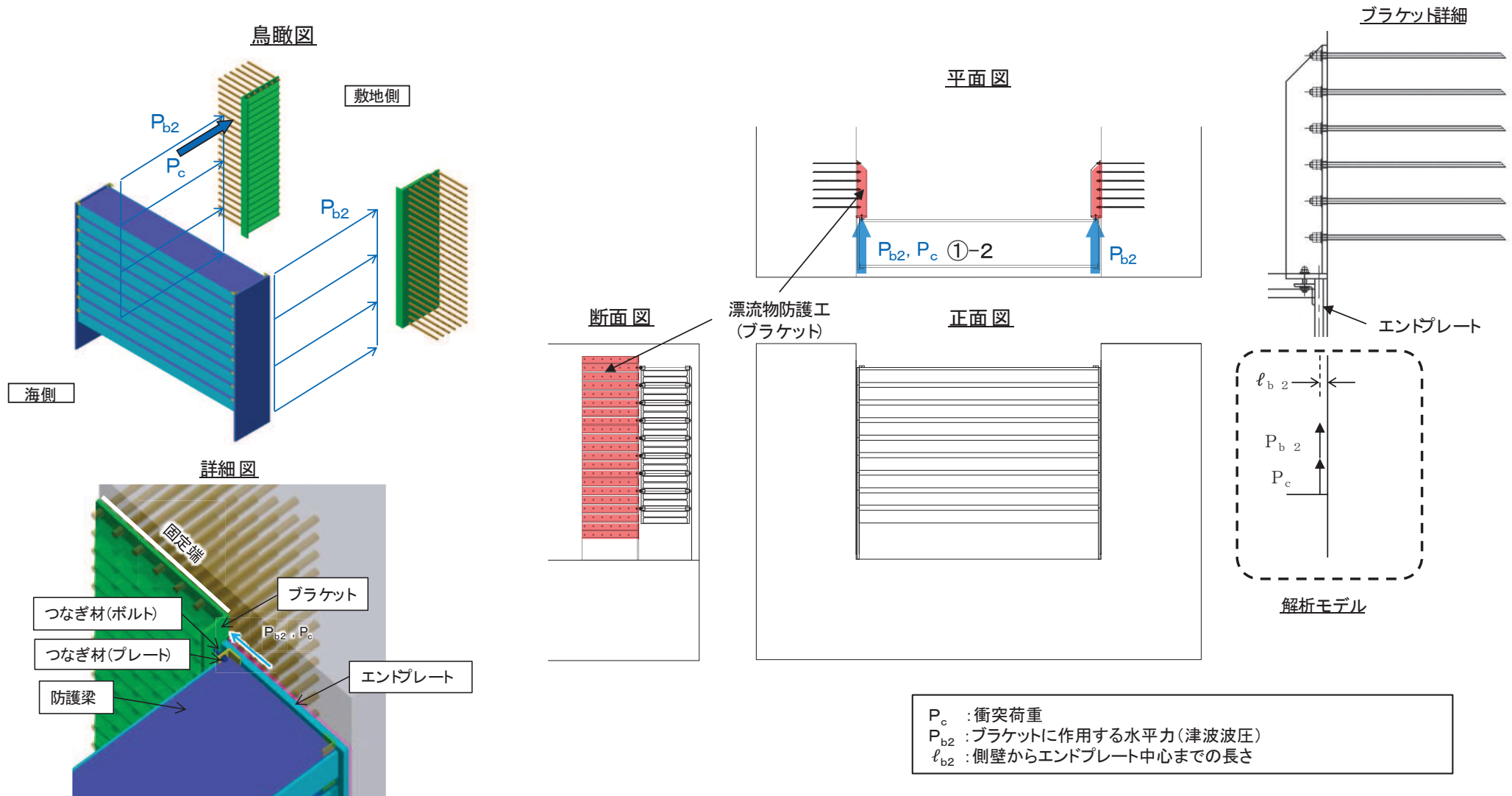
- 衝突荷重を考慮する津波時において、防護梁は防護梁の両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持されるため、単純梁としてモデル化し、衝突荷重は「4.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法」で整理したとおり、防護梁に対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)
- なお、防護梁の地震時及び余震重畳時における評価方法は参考9に示す。



4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.6 各部材の評価方法(ブラケット:津波時)

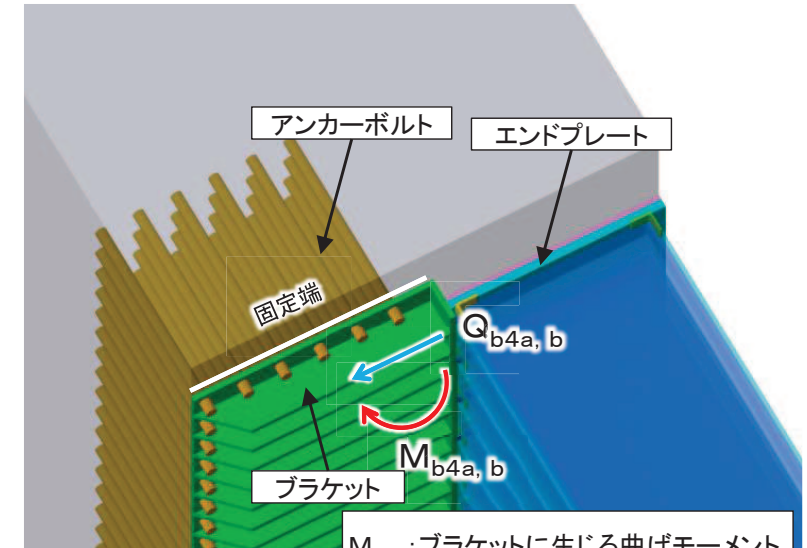
- 衝突荷重を考慮する津波時において、ブラケットはアンカーボルトを固定端として支持される構造であり、片持ち梁としてモデル化し、衝突荷重は「4.3 詳細設計を踏まえた衝突荷重の考慮方法」で整理したとおり、ブラケットに対して安全側の設定を行い、評価を行う(下図参照)。
- なお、ブラケットの地震時及び余震重畳時における評価方法は参考9に示す。



4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

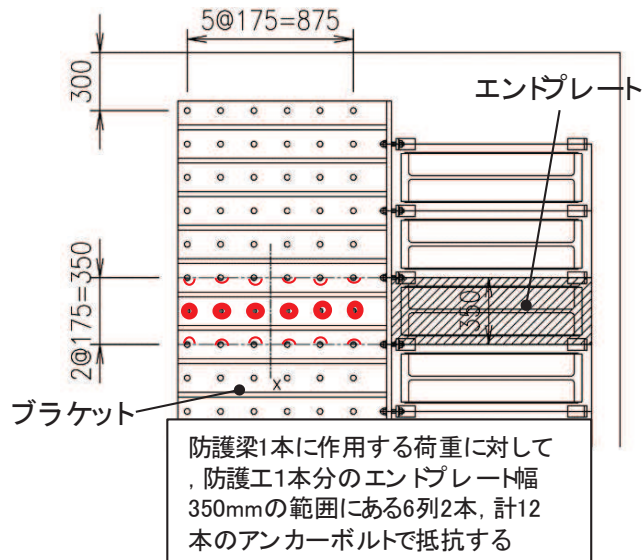
4.6 各部材の評価方法(アンカーボルト:津波時)

- アンカーボルトは出口側集水ピットに埋め込むことによって、ブラケットを支持する構造である。
- 津波時の津波荷重に対して、アンカーボルトはエンドプレート幅350mmの範囲にある6本2列、計12本のアンカーボルトで抵抗する(下図(左))。
- 津波時の衝突荷重(集中荷重)に対して、防護梁1本に作用するため、エンドプレート幅350mmから45°の荷重伝達を考慮して6本5列計30本で抵抗するものとする(下図(右))。
- なお、アンカーボルトの地震時及び余震重畳時における評価方法は参考9に示す。

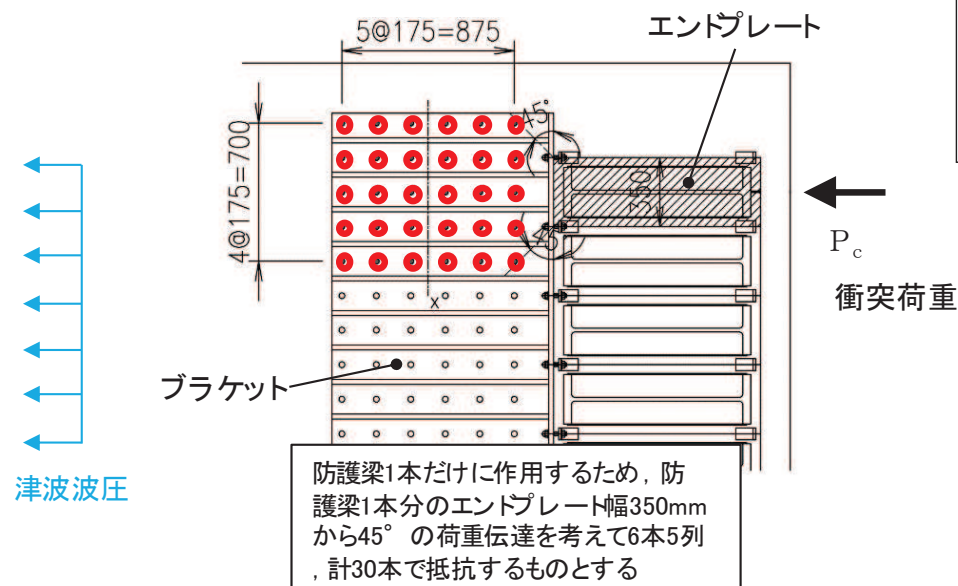


M_{b4a} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重以外)
 M_{b4b} : ブラケットに生じる曲げモーメント (衝突荷重)
 Q_{b4a} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重以外)
 Q_{b4b} : ブラケットに生じるせん断力 (衝突荷重)

【津波荷重に対するアンカーボルトの抵抗範囲】



【漂流物荷重に対するアンカーボルトの抵抗範囲】



津波波圧

P_c
 衝突荷重

4.7 構造成立性(評価結果)(1/2)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の寄せ波時の強度評価結果を示す。なお、地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果は参考10に示す。
- 漂流物防護工に発生する応力は許容限界以下であることを確認した。
- 引き波時の荷重に対する強度評価結果は次頁に示す。

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の強度評価結果

部材		材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)
津波時	防護梁	SM570	曲げ応力度	242	382	0.64
			せん断応力度	139	217	0.65
			合成応力度*	0.81	1.2	0.68
	ブラケット	SS400	曲げ応力度	6	210	0.03
			せん断応力度	41	120	0.35
			合成応力度*	0.12	1.2	0.1
	アンカーボルト	SD345	応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)
			引張	14	105	0.14
			せん断	71	85	0.84
			合成*	0.71	1.2	0.60

注記*: 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

4. 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の設計

4.7 構造成立性(評価結果)(2/2)

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の引き波時の影響評価結果を示す。
- 影響検討内容①(漂流物の自重)は, FRP製船舶自重(147.1kN)を防護梁上部中央に作用させることで評価した。
- 影響検討内容②(引き波による静水圧)は, 最下端の防護梁に作用する静水圧(29.5424kN/m²)を作用させることで評価した。
- 漂流物防護工に発生する応力は許容限界以下であることを確認した。なお, 影響検討内容②における防護梁の照査値は十分小さく, ①と②の重畳を考慮しても構造健全性は確保できる。

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の引き波時の影響評価結果(影響検討内容①)

部材		材質	応力成分	発生応力a (N/mm ²)	許容応力b (N/mm ²)	照査値(a/b)
引き波時	防護梁	SM570	曲げ応力度	246	382	0.65
			せん断応力度	9	217	0.05
			合成応力度*	0.42	1.2	0.35

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の引き波時の影響評価結果(影響検討内容②)

部材		材質	応力成分	発生応力a (N/mm ²)	許容応力b (N/mm ²)	照査値(a/b)	
引き波時	防護梁	H鋼	SM570	曲げ応力度	3	382	0.01
				せん断応力度	2	217	0.01
				合成応力度*	0.01	1.2	0.01
		つなぎ材 (プレート)	SM570	曲げ応力度	134	382	0.36
				せん断応力度	12	217	0.06
				合成応力度	0.13	1.2	0.11
	ブラケット	SS400	曲げ応力度	122	210	0.59	
	つなぎ材(ボルト)	強度区分4.6	引張応力度	73	210	0.35	
	アンカーボルト	SD345	評価項目	発生値a(kN)	許容値b(kN)	照査値(a/b)	
			引張	1	105	0.01	
			せん断	2	85	0.03	
合成*			0.01	1.2	0.01		

注記*: 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。

【漂流物の影響要因の整理】

- 漂流物による衝突は、基準津波第一波の寄せ波で生じるため、衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用する。

【構造選定の考え方】

- 漂流物の影響要因を踏まえ、海から敷地に向かう衝突荷重に抵抗する構造の漂流物防護工を防潮堤及び屋外排水路逆流防止設備（防潮堤北側）の前面（海側）に設置することとし、発電所の運用上の観点、現状構造の活用の観点、施工実現性の観点等から、構造を選定して詳細設計を行った。

【各部材に期待する役割及び損傷モードを踏まえた評価の考え方】

- 漂流物防護工の構造特徴を踏まえた漂流物の影響（衝突荷重の考慮方法及び引き波時の検討）を整理した上で、各部材に期待する役割及び損傷モードを踏まえた評価の考え方の整理を行った。

【構造成立性】

- 以上を踏まえた検討により、漂流物による衝突荷重を含む外力に対して、漂流物防護工の構造が成立することを確認した。

(参考資料)

- 参考1 第876回審査会合資料(抜粋)
- 参考2 漂流物防護工(防潮堤)の構造選定の詳細
- 参考3 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について
- 参考4 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法
- 参考5 漂流物防護工(防潮堤)の架台縦リブのスキンプレートへの影響
- 参考6 漂流物防護工(防潮堤)の構造成立性
- 参考7 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の構造選定の詳細
- 参考8 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の詳細構造
- 参考9 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の評価方法
- 参考10 漂流物防護工(屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))の構造成立性

【1-1】漂流物防護工の追加

6

1. 概要

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)について、漂流物衝突荷重に対する安全性向上のため、施設前面に漂流物防護工を設置する。

※:防潮堤の鋼管杭(長杭)間に設置していた頂部はりを撤去することで、漂流物防護工の設置に伴い防潮堤の全体重量が増加しない設計とする。

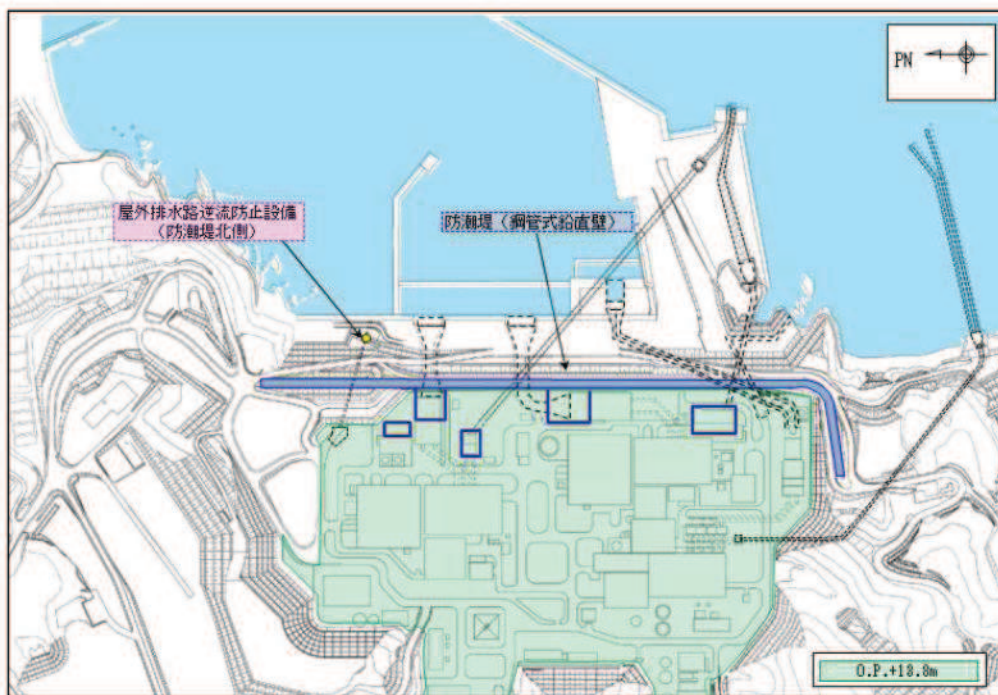


図1 漂流物防護工の追加位置
(防潮堤(鋼管式鉛直壁), 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側))

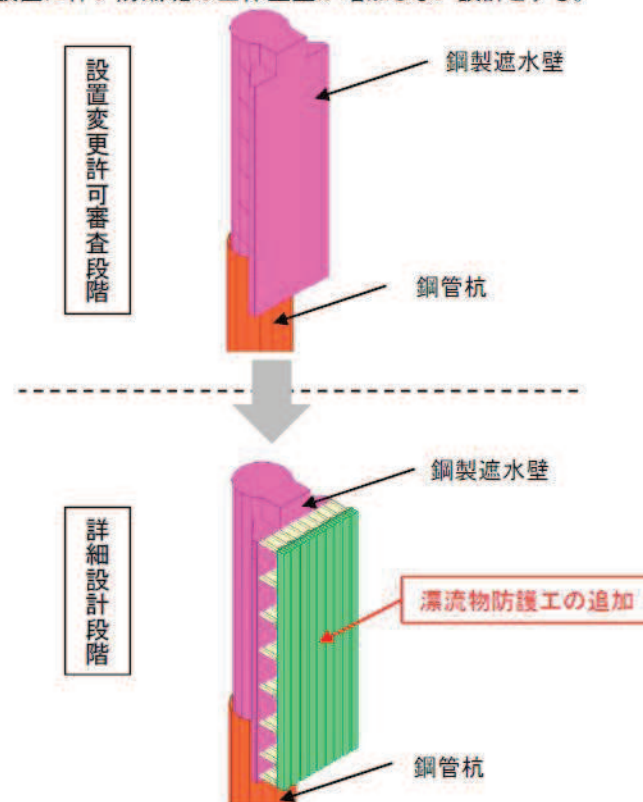


図2 防潮堤(鋼管式鉛直壁)鋼製遮水壁 イメージ図

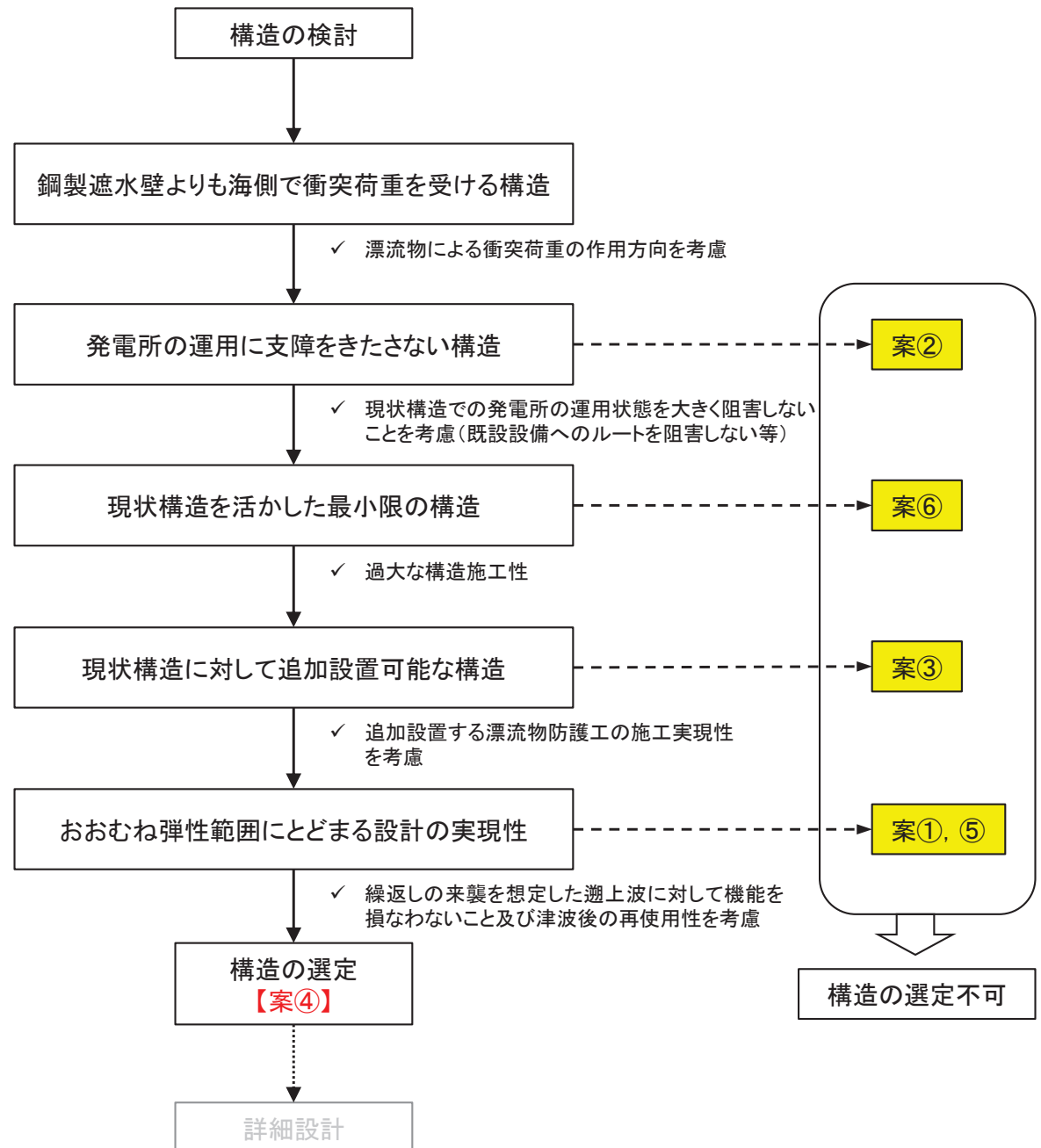
2. 今後の説明予定*

- 防潮堤(鋼管式鉛直壁)及び屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工について、2020年5月提出の要目表、図面等にて概要説明予定。なお、2020年9月(防潮堤)、2020年11月(逆流防止設備)提出の耐震計算書等にて詳細説明予定。

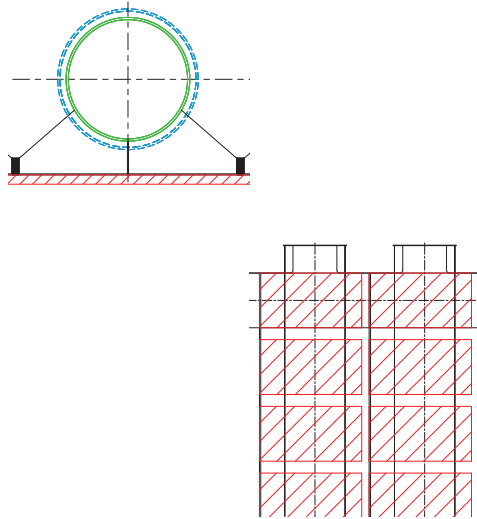
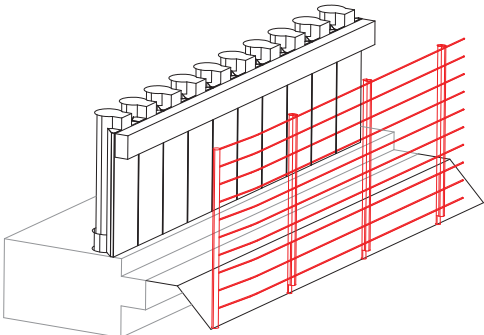
注記*:「2. 今後の説明予定」には各図書の提出予定を記載したもの。なお、本項目については当初計画どおり2020年5月・9月・11月に工事計画認可申請(補正)済み。

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、以下に示す制約条件を設けて、構造選定を行った上で、詳細設計することとした。

ここでは、選定した案④の他に、選定されなかった構造案を次頁示す。

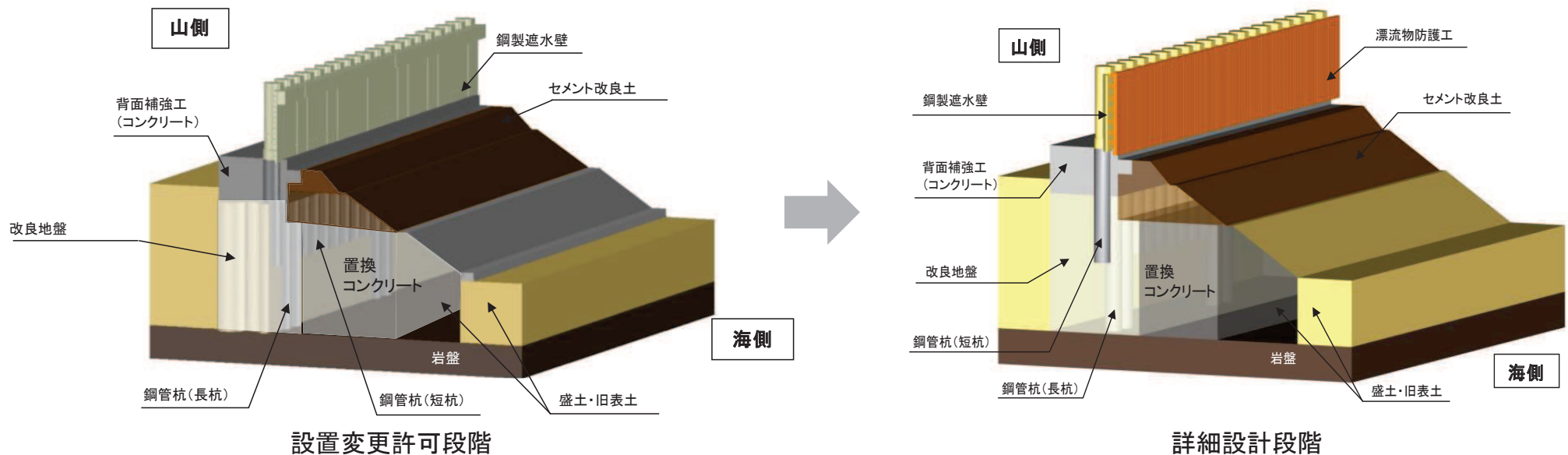


案	案①(コンクリート+補強リブ)	案②(セメント改良土追加)	案③(スキンPL増厚+補強リブ)	(採用案)案④(防護工追加)
構造概要	<p>鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 垂直リブ(鋼製遮水壁) 鉄筋コンクリート スキンプレート(鋼製遮水壁) 水平リブ補強材 鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 鉄筋コンクリート スキンプレート(鋼製遮水壁)</p>	<p>鋼管杭 セメント改良土追加 背面補強工 改良地盤 置換コンクリート 追加地盤改良(沈下対策)</p>	<p>鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 垂直リブ(鋼製遮水壁) 鋼製遮水壁増厚 スキンプレート(鋼製遮水壁) 水平リブ補強材 鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 鋼製遮水壁増厚 スキンプレート(鋼製遮水壁)</p>	<p>鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 垂直リブ(鋼製遮水壁) 架台(漂流物防護工) 防護工(漂流物防護工) スキンプレート(鋼製遮水壁) 鋼管杭 水平リブ(鋼製遮水壁) 架台(漂流物防護工) 防護工(漂流物防護工)</p>
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレート及び止水ジョイント前面に鉄筋コンクリートを設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 防潮堤前面にセメント改良土を設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレートを溶接等で増厚し、漂流物による衝突荷重に抵抗させる。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ スキンプレート及び止水ジョイント前面に防護工を設置し、スキンプレート及び止水ジョイントに漂流物を衝突させない。 ▶ 水平リブと同じ高さに追加リブ(架台)を設置し、桁高(剛性)を大きくすることで、水平リブの裕度を向上させる。
発電所の運用	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 防潮堤前面の敷地を塞ぐため、発電所運用上問題あり。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 特に問題なし。
現状構造の活用	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現状構造を活用した構造。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現状構造を活用した構造。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現状構造を活用した構造。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 現状構造を活用した構造。
施工実現性	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 水平リブの補強が必要であり、施工性に課題がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 大断面のスキンプレートを溶接又はボルトで固定することは困難。(×) ▶ 水平リブの補強が必要であり、施工性に課題がある。(△) 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 部材が多くなり、現場溶接等の現場施工量が多くなる。
設計実現性	<ul style="list-style-type: none"> ▶ コンクリートの設置により鋼管杭の自重が大きくなり、鋼管杭を弾性範囲にとどめることが困難。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ セメント改良土からの荷重により鋼管杭を弾性範囲にとどめることが困難。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 止水ジョイント防護のための対策が別途必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 鋼管杭前面に張り出す構造について影響考慮が必要。
採否	×	×	×	○

案	案⑤(緩衝材設置)	案⑥(前面に防護ロープ設置)
構造概要		
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> スンプレート前面に荷重緩衝材を設置し、荷重を分散させるか衝撃を緩和することにより、荷重に抵抗させる。 	<ul style="list-style-type: none"> 支柱を設置し、その支柱に衝突防護ロープを設置して、漂流物の衝突エネルギーを吸収させる。
発電所の運用	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 防潮堤前面に構造物を設置するため、若干の影響あり。
現状構造の活用	<ul style="list-style-type: none"> 現状構造を活用した構造。 	<ul style="list-style-type: none"> 支柱を地震荷重及び津波荷重に耐えられる仕様とする必要があり、現状構造の他に同規模の施設を設置することになる。
施工実現性	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。 	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。
設計実現性	<ul style="list-style-type: none"> 2000kNという漂流物による衝突荷重に対する設計方法として先行実績がなく、設計、性能試験等に長期間を要する。(×) 止水ジョイント防護のための対策が別途必要。(△) 	<ul style="list-style-type: none"> 特に問題なし。
採否	×	×

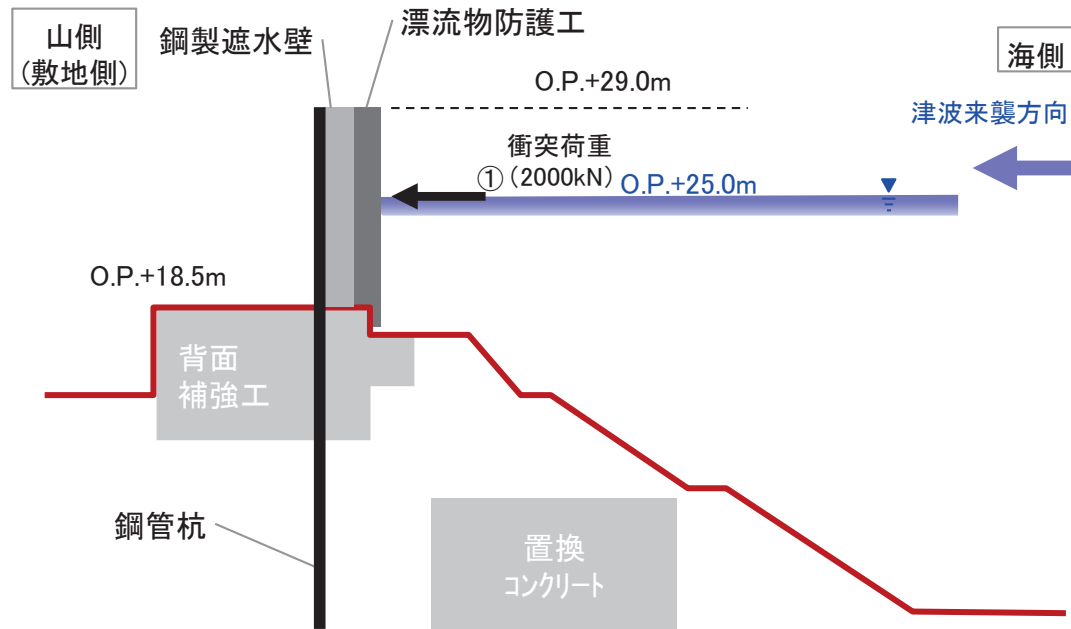
【防潮堤(鋼管式鉛直壁)一般部の構造の変更について(頂部はりの撤去)】

- 設置変更許可申請時においては、鋼管杭(短杭)を支持する改良地盤の下方に未改良の盛土・旧表土が存在し、地震時に盛土・旧表土の不等沈下が発生したとしても、岩盤に支持させる鋼管杭(長杭)と鋼管杭(長杭)に支持させる頂部はりにより止水性を確保する設計としていた。
- 設置変更許可の審査の中で、不等沈下が発生した場合の鋼管杭(短杭)の挙動の不確実性及び防潮堤の上部構造と盛土・旧表土との間に間隙が生じ津波の流入経路となる可能性について指摘があり、止水性及び構造成立性の確実性を高めるため、防潮堤直下の盛土・旧表土を地盤改良することにより、不等沈下をしない構造とした。
- その結果、頂部はりは役割を失うこととなったが、設置変更許可段階において示した構造成立性評価では、頂部はりを含んだ構造での構造成立性を説明した。
- 詳細設計段階では、漂流物による衝突荷重を2000kNと設定したことに伴い、鋼製遮水壁前面に漂流物防護工を設置することとした。漂流物防護工設置の支障となる頂部はりには撤去することとし、新たに設置する漂流物防護工の重量を、撤去する頂部はりの重量(設計上考慮していた重量)以下とすることにより、防潮堤の耐震設計及び耐津波設計への影響を最小限に抑えることとした。



参考3. 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について(1/2)

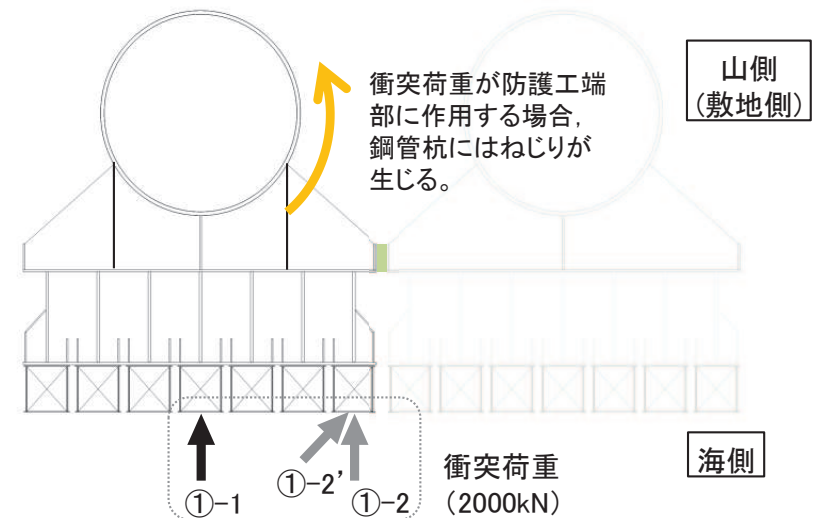
➤ 鋼管杭を評価対象とした場合の衝突荷重の作用方法を以下に示す。



鋼管杭を対象とした衝突荷重の作用方法

検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 鋼管杭中心に衝突	防護工に作用する衝突荷重が架台及び水平リブを伝達して鋼管杭を大きく変形させる。	○
①-2 防護工端部に衝突	防護工の端部に作用する衝突荷重が架台及び水平リブを伝達して鋼管杭を変形させるとともに、鋼管杭にはねじり応力が発生する。	○*

注記* :念のため、ねじり応力が最大となるように衝突荷重2000(kN)を斜め方向から作用させた場合についても影響検討を行う(①-2')。



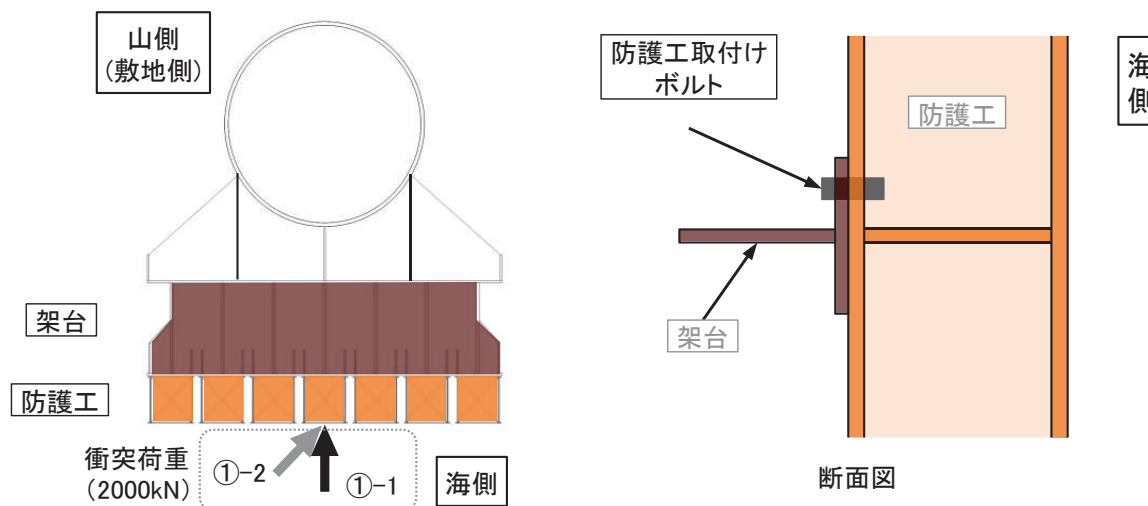
参考3. 漂流物防護工(防潮堤)に作用する衝突荷重について(2/2)

- 追加設置する漂流物防護工の構造特徴を踏まえ、各部材に対して評価が厳しくなるよう作用位置は安全側の設定を行う。
- 防護工取付けボルトに対しては、斜めからの衝突荷重が作用することを考慮する。

防護工取付けボルトを対象とした衝突荷重の作用方法

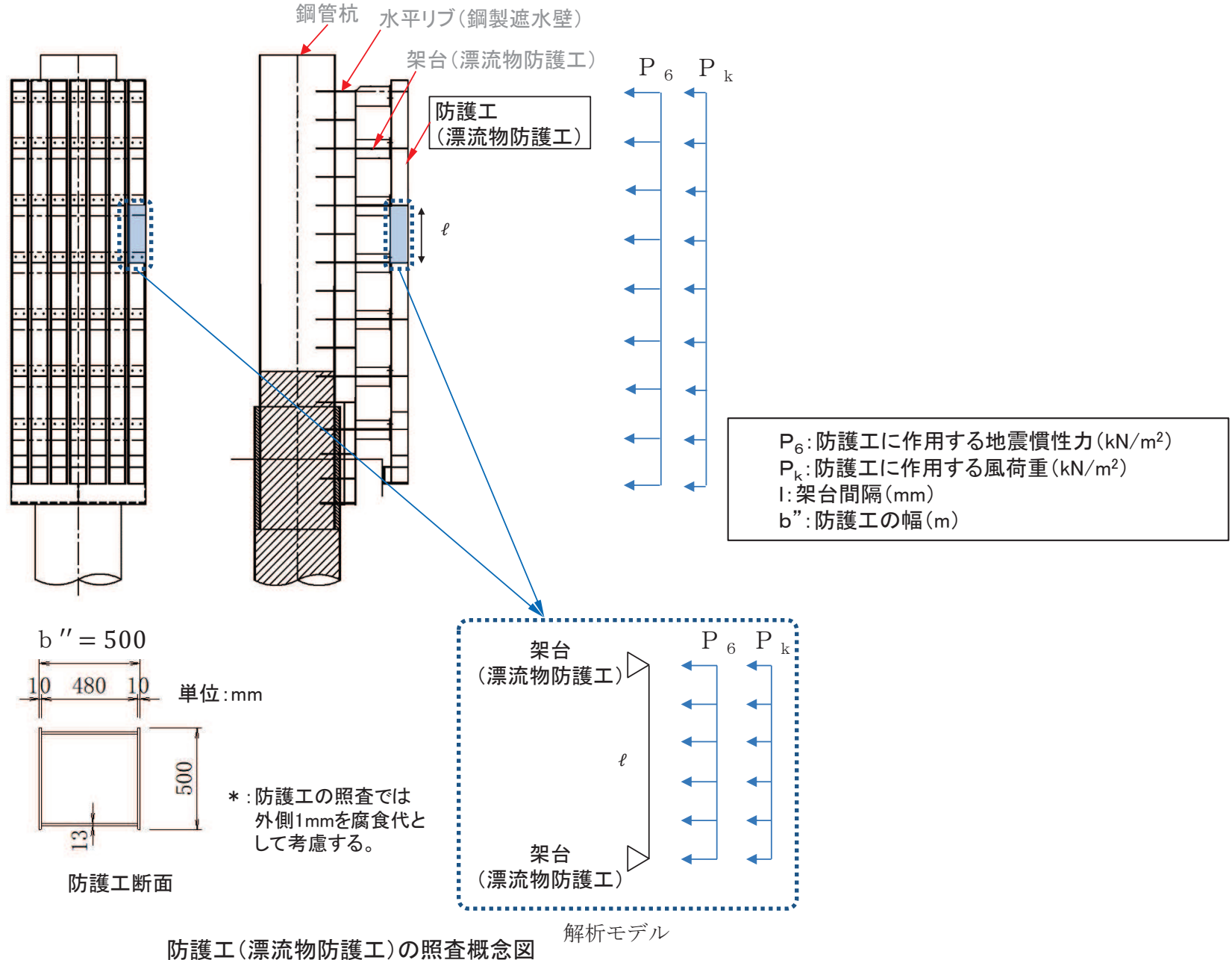
検討項目	検討結果	考慮の有無
①-1 防護工に対して 垂直に衝突	防護工及び架台には大きな荷重が伝達されるが、防護工取付けボルトには荷重が作用しない。	—
①-2 防護工に対して 斜めに衝突	防護工及び架台に伝達される荷重は①-1よりも小さくなるが、防護工取付けボルトにも荷重が作用する	○*

注記* : 鋼管杭及び止水ジョイントに対する評価としては、衝突荷重を防護工の端部(斜め含む)に作用させた場合の検討も行う(前頁)。



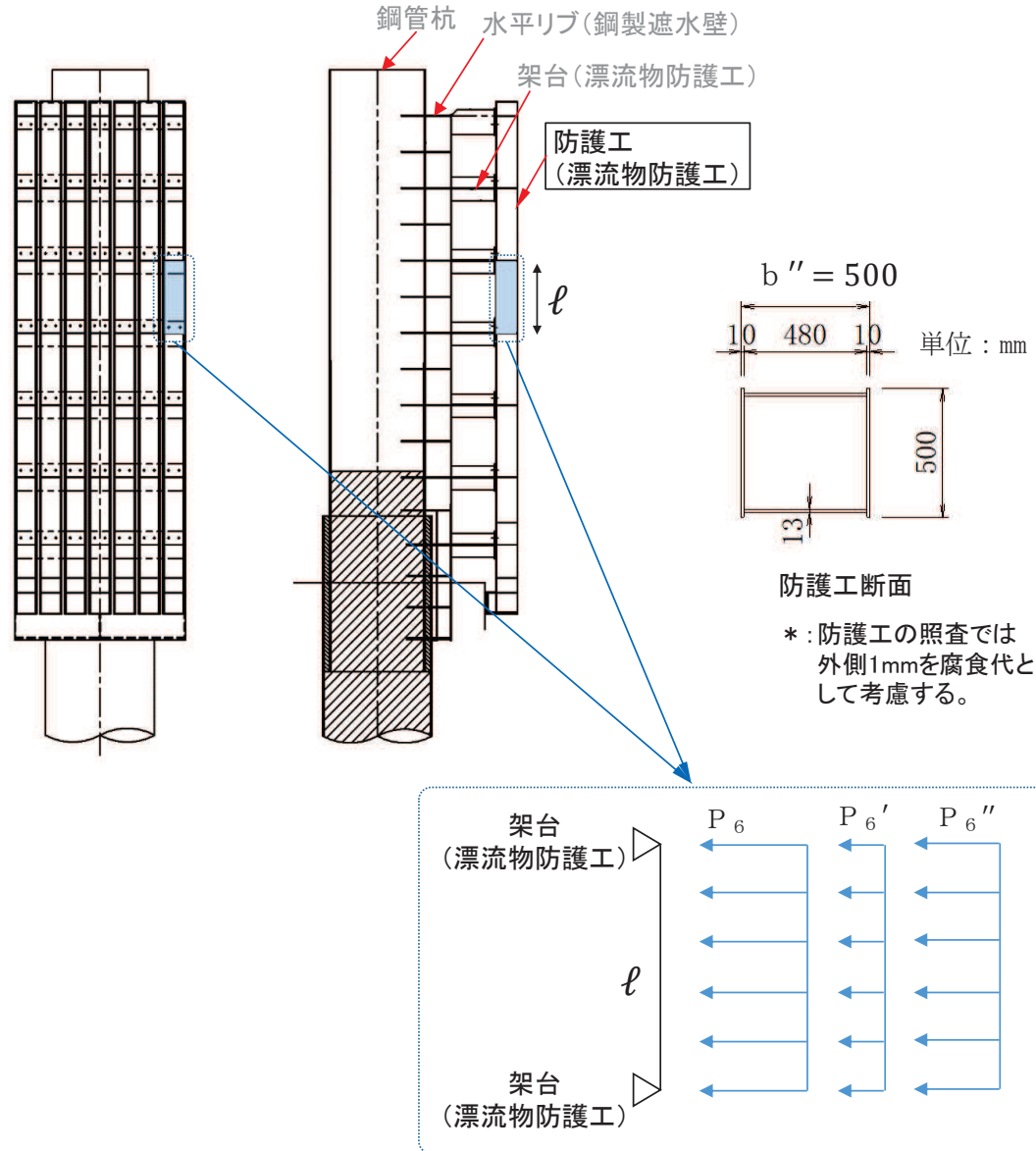
参考4. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(防護工:地震時)

- 漂流物防護工のうち防護工の地震時の評価方法を示す。
- 防護工(漂流物防護工)は架台を支点とする単純ばりでモデル化する。



参考4. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(防護工:余震重畳時)

- 漂流物防護工のうち防護工の余震重畳時の評価方法を示す。
- 防護工(漂流物防護工)は架台を支点とする単純ばりでモデル化する。



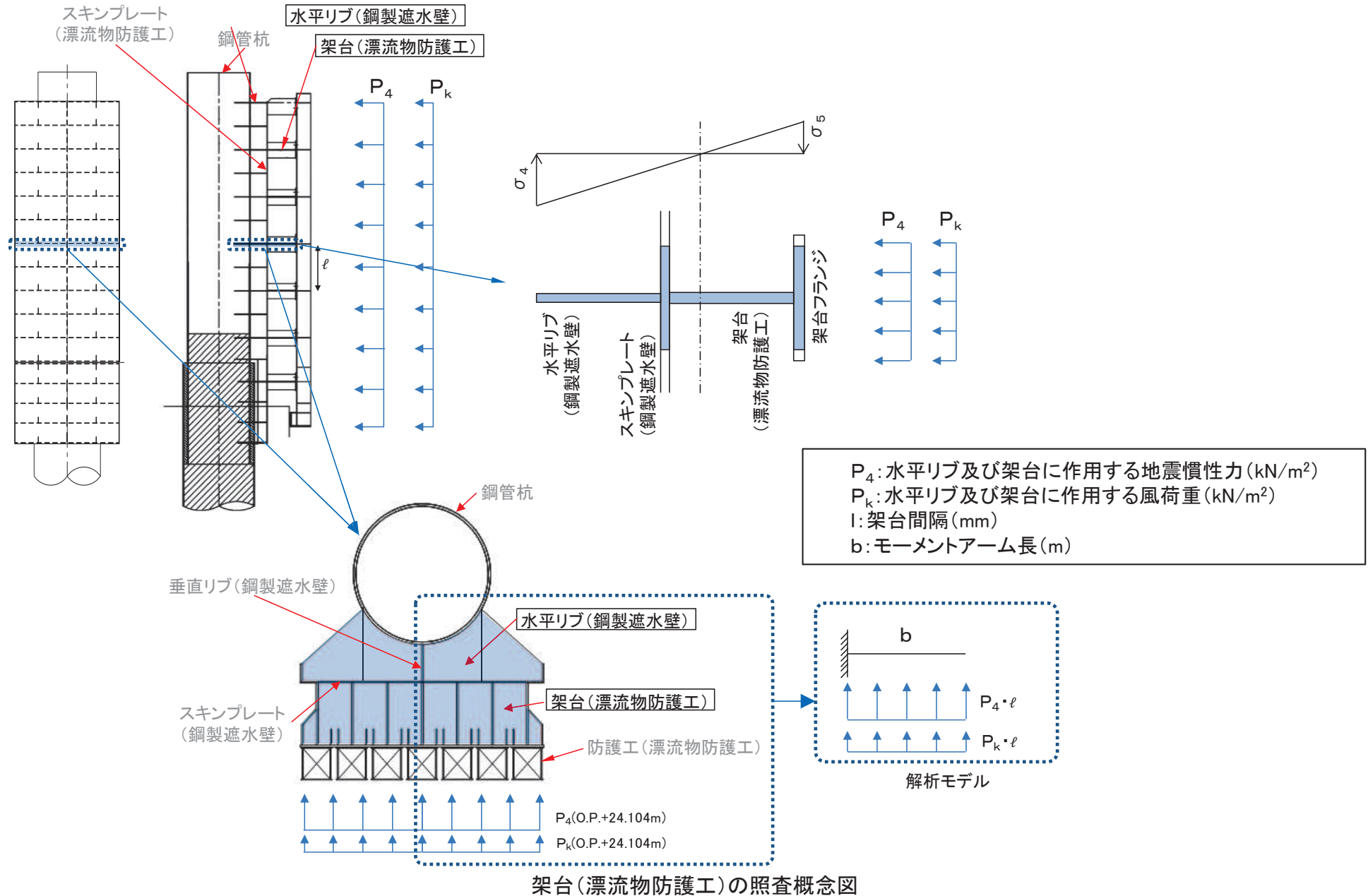
P_6 : 防護工に作用する津波波圧 (kN/m^2)
 P_6' : 防護工に作用する余震慣性力 (kN/m^2)
 P_6'' : 防護工に作用する動水圧 (kN/m^2)
 l : 架台間隔 (mm)
 b'' : 防護工の幅 (m)

解析モデル

防護工(漂流物防護工)の照査概念図

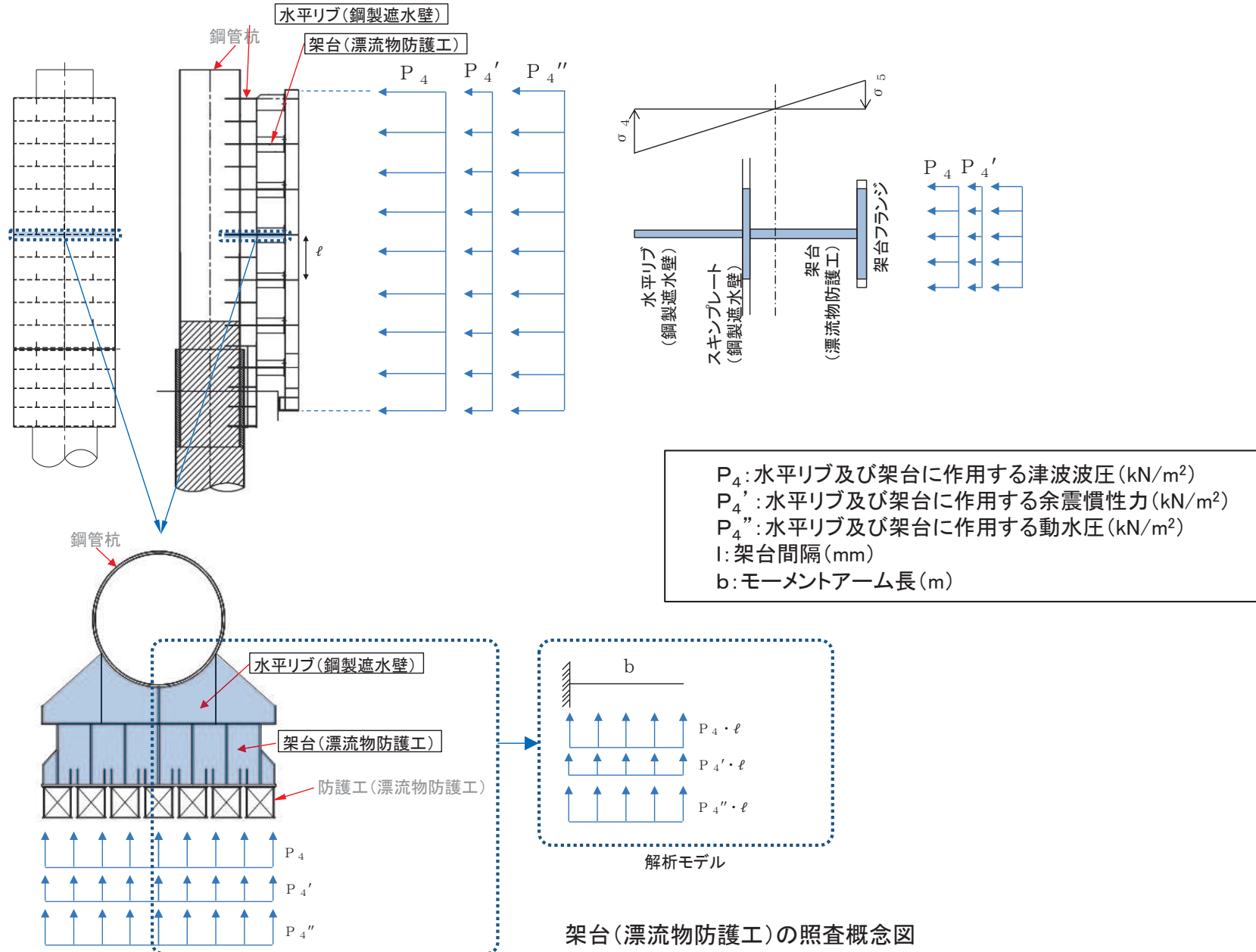
参考4. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(架台:地震時)

- 漂流物防護工のうち水平リブ及び架台の地震時の評価方法を示す。
- 架台(漂流物防護工)は水平リブ(鋼製遮水壁)と一体として評価することとし、鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化する。



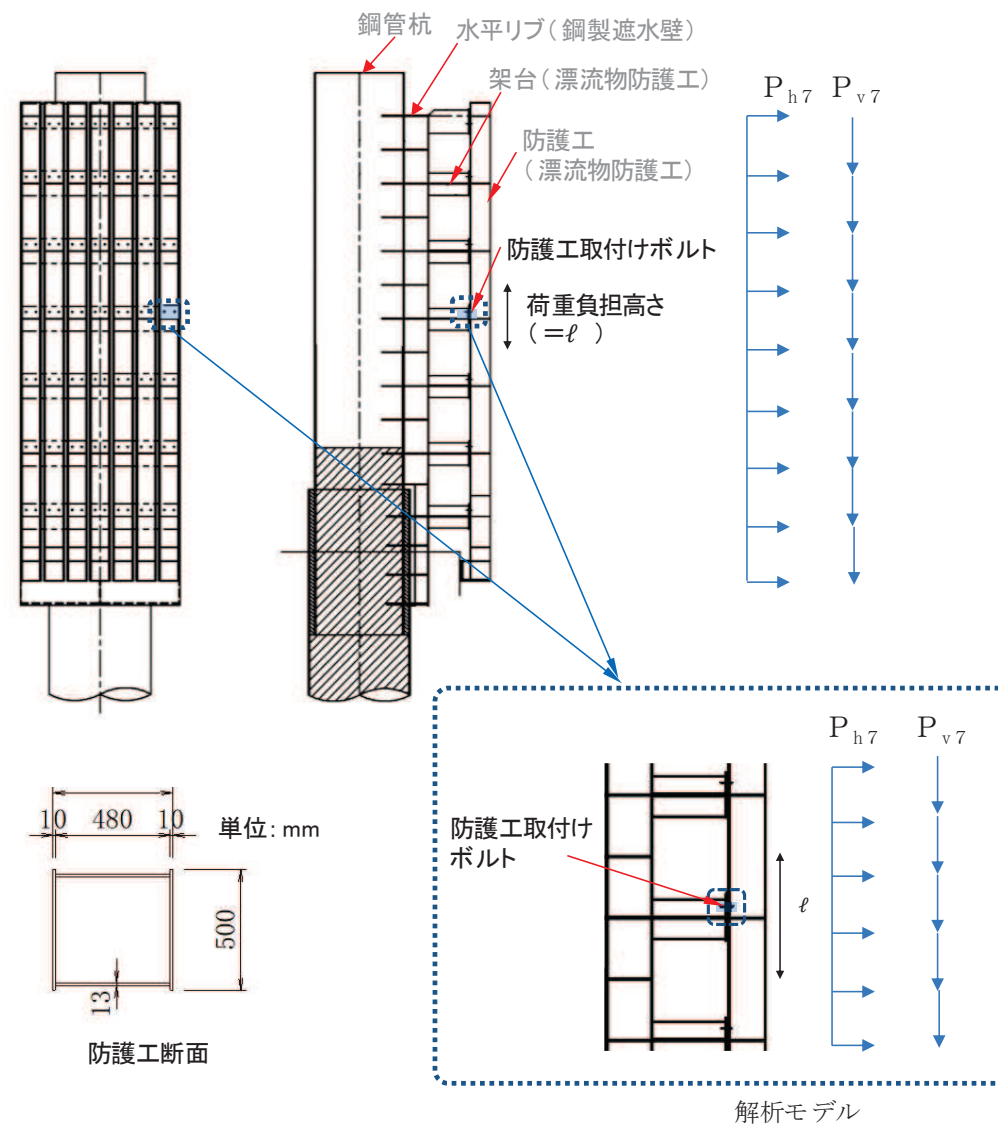
参考4. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(架台:余震重畳時)

- 漂流物防護工のうち水平リブ及び架台の余震重畳時の評価方法を示す。
- 架台(漂流物防護工)は水平リブ(鋼製遮水壁)と一体として評価することとし、鋼管杭中心線上を固定端とする片持ちばりでモデル化する。



参考4. 漂流物防護工(防潮堤)の評価方法(防護工取付けボルト)

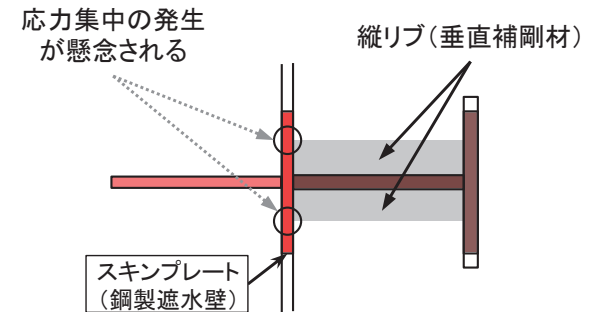
- 防護工取付けボルト(漂流物防護工)は、地震時の水平地震慣性力により発生する引張力及び鉛直地震慣性力により発生するせん断力に対して評価する。
- 津波時については、作用荷重(津波波圧及び衝突荷重)が圧縮方向(海→山方向)であるため、引張及びせん断力は発生しないことから評価を省略する。ただし、漂流物が斜めから衝突することで、せん断力が生じた場合を想定し、影響確認を行う。
- 余震重畳時について、水平方向の作用荷重は、圧縮方向(海→山方向)の津波波圧が支配的であること、鉛直方向の慣性力は地震時慣性力に包絡されることから、評価を省略する。



P_{h7} : 防護工取付けボルトに作用する水平地震慣性力
 P_{v7} : 防護工取付けボルトに作用する鉛直地震慣性力
 ℓ : 架台間隔(mm)

参考5. 漂流物防護工(防潮堤)の架台縦リブのスキンプレートへの影響

- 架台は、道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編の垂直補剛材の配置及びその間隔の規定によれば、フランジ純間隔(スキンプレートとフランジの距離)に対して板厚が十分に厚いことから垂直補剛材は不要とされている(右図参照)ものの、座屈に対して十分な安全性を確保する観点から垂直補剛材として縦リブを設置する。なお、「3.6 評価方法」で示す片持ちばりの照査において、この縦リブは断面係数に考慮しない。
- また、架台は、上記のように垂直補剛材が不要と規定されていることから分かるように、板厚が十分に厚く剛性が大きいため架台の変形も小さいと判断できることから、縦リブがスキンプレート(鋼製遮水壁)に及ぼす影響は小さい。



10.4.3 垂直補剛材の配置及びその間隔

(1) 上下両フランジの純間隔が表-10.4.2の値をこえる場合は、腹板には垂直補剛材を設けるものとする。

計算せん断応力度が許容せん断応力度に比べて小さい場合は、表-10.4.2の値を $\sqrt{\text{許容せん断応力度} / \text{計算せん断応力度}}$ 倍することができる。ただし、1.2倍をこえてはならない。

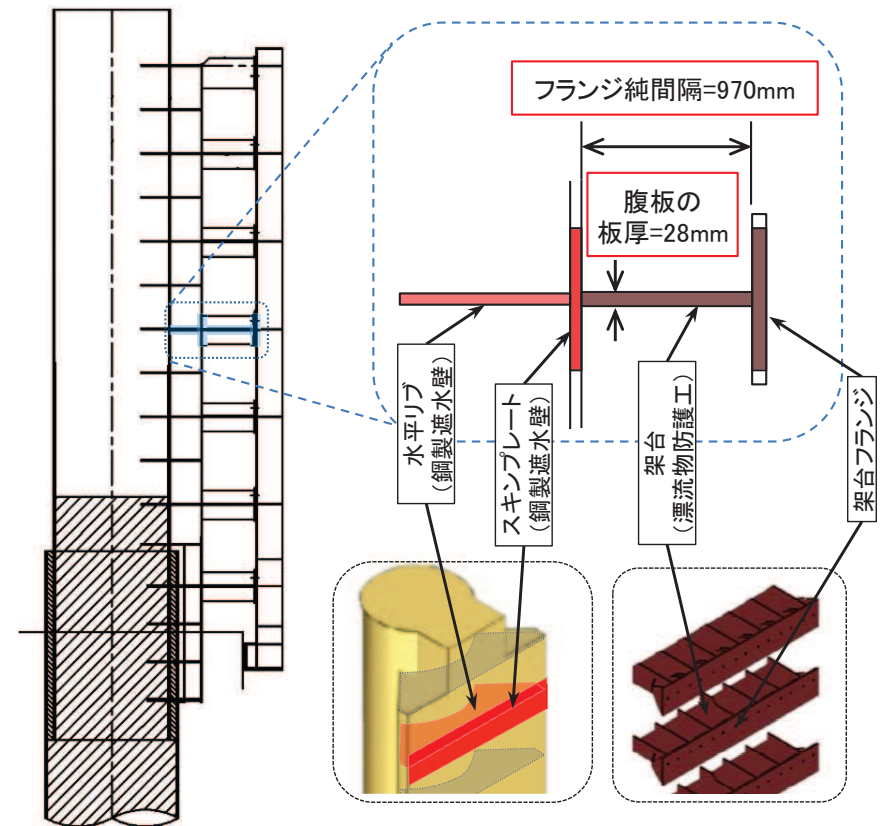
表-10.4.2 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値

鋼種	SS400	SM490	SM490Y	SM570
	SM400		SM520	SMA570W
	SMA400W		SMA490W	SMA570W
上下両フランジ純間隔	70t	60t	57t	50t

ここに、 t : 腹板の板厚

道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編抜粋

✓ 垂直補剛材を省略しうるフランジ純間隔の最大値
 $57t = 57 \times 28\text{mm} = 1596\text{mm} > 970\text{mm}$ (フランジ純間隔)



断面図

フランジ純間隔及び腹板の板厚のイメージ図

参考6. 漂流物防護工(防潮堤)の構造成立性(評価結果:地震時及び余震重畳時)

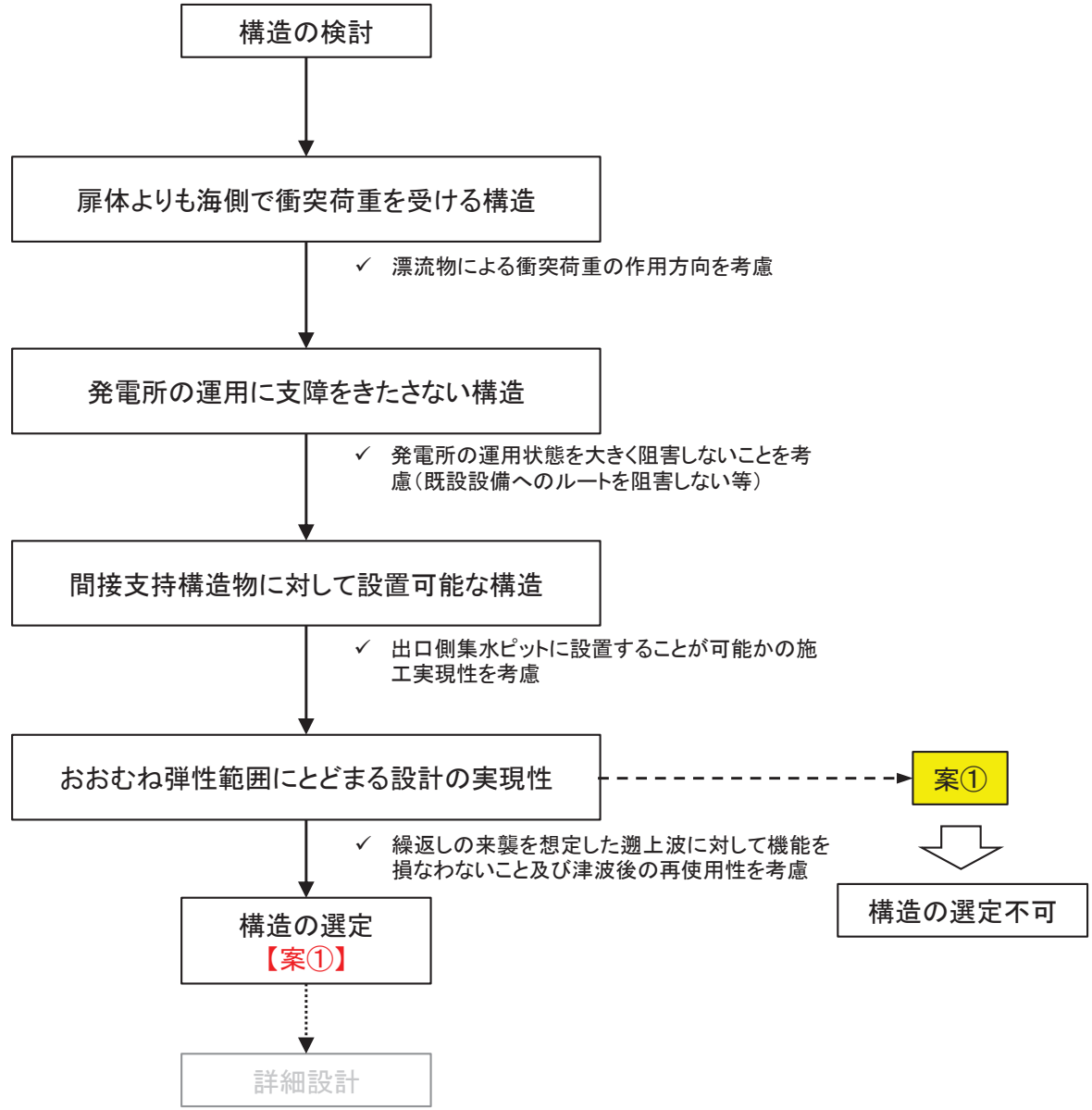
- 地震時及び余震重畳時の各部材の評価結果を下表に示す。
- 漂流物防護工の各部材は、地震時及び余震重畳時においても発生する応力が許容限界以下であることを確認した。

防潮堤のうち漂流物防護工の評価結果

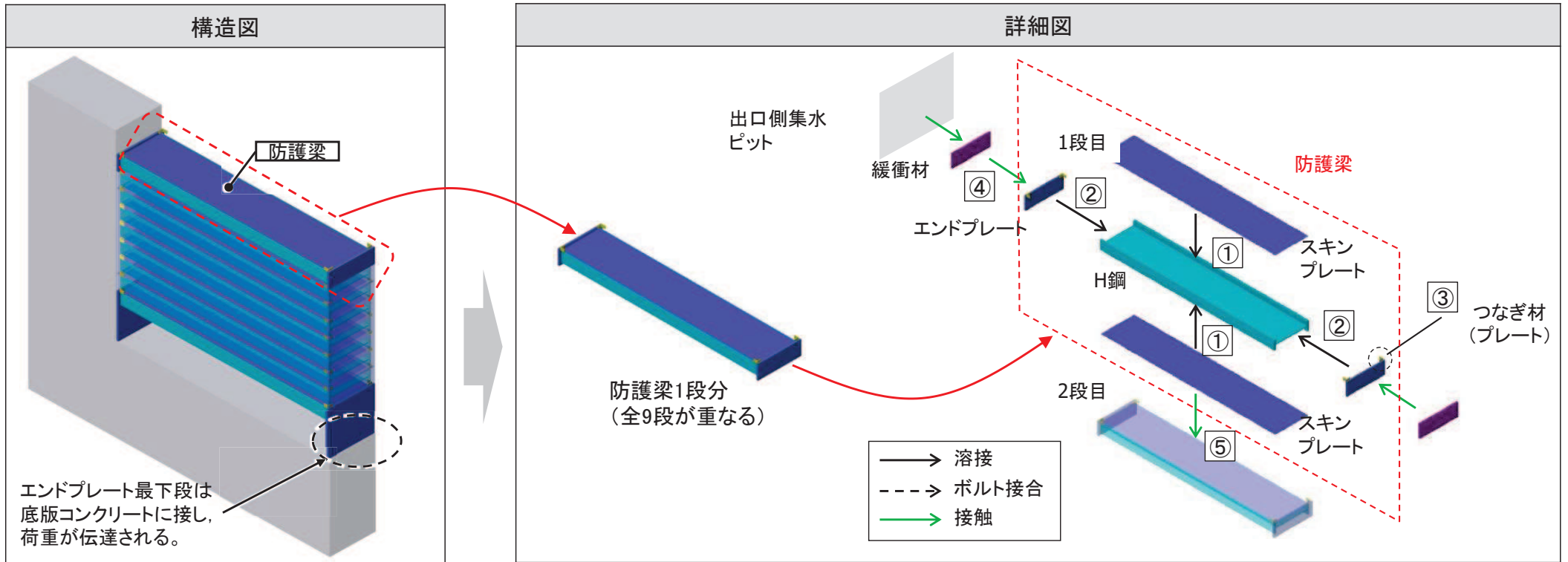
部材		材質	応力成分	応力度 (a)	許容限界 (b)	照査値 (a/b)
地震時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	3	382	0.01
			せん断応力度 (N/mm ²)	2	217	0.01
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	21	315	0.08
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	180	0.08
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
防護工取付け ボルト	強度区分8.8	引張応力度 (N/mm ²)	52	540	0.10	
		せん断応力度 (N/mm ²)	18	300	0.06	
余震重畳時	防護工	SM570	曲げ応力度 (N/mm ²)	19	382	0.05
			せん断応力度 (N/mm ²)	13	217	0.06
			合成応力度	0.01	1.20	0.01
	架台	SM490Y	曲げ応力度 (N/mm ²)	59	315	0.19
			せん断応力度 (N/mm ²)	38	180	0.22
			合成応力度	0.09	1.20	0.08

- 基準津波第一波の寄せ波時において、漂流物による衝突荷重は海から敷地に向かう方向に作用し、この衝突荷重と重畳させる津波荷重も作用方向は同じである。
- そのため、追加設置する漂流物防護工は、主として海から敷地に向かう方向の荷重に抵抗する構造となるよう設計する。
- 追加設置する漂流物防護工は、以下に示す制約条件を設けて、構造選定を行った上で、詳細設計することとした。

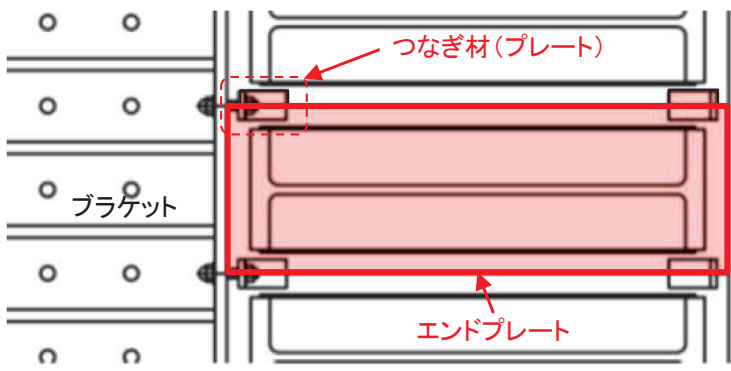
ここでは、選定した案②の他に、選定されなかった構造案を次頁に示す。



案	案①(防護梁を直接出口側集水ピットで支持)		(採用案)案②(防護梁をブラケットを介して出口側集水ピットで支持)	
構造概要	<p>出口側集水ピット</p> <p>扉体</p> <p>アンカーボルト</p> <p>防護梁</p> <p>アンカーボルト</p> <p>荷重作用方向</p> <p>防護梁をアンカーボルトで出口側集水ピットに直接固定</p>		<p>扉体</p> <p>アンカーボルト</p> <p>ブラケット</p> <p>防護梁</p> <p>アンカーボルト</p> <p>出口側集水ピット</p> <p>荷重作用方向</p> <p>ブラケットをアンカーボルトで固定</p> <p>防護梁をブラケットで支持</p> <p>曲げモーメント</p> <p>防護梁からの反力</p> <p>ブラケット</p> <p>防護梁</p> <p>曲げモーメント</p> <p>荷重作用方向</p> <p>防護梁が単純梁としてブラケットに支持される構造とすることで、ブラケット端部の曲げモーメントが小さくなり、アンカーボルトが負担する荷重を小さくできる</p>	
設計コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 扉体前面に防護梁を設置し、扉体に漂流物を衝突させない。 ▶ 防護梁はアンカーボルトで出口側集水ピットに直接固定。 		<ul style="list-style-type: none"> ▶ おおむね弾性範囲にとどまる設計。 ▶ 扉体前面に防護梁を設置し、扉体に漂流物を衝突させない。 ▶ 防護梁はブラケットを介してアンカーボルトで出口側集水ピットに固定。 	
発電所の運用	▶ 特に問題なし。	○ ▶ 特に問題なし。	○	
施工実現性	▶ 特に問題なし。	○ ▶ 特に問題なし。	○	
設計実現性	▶ 配置可能な本数でのアンカーボルトでは裕度が確保できない。	× ▶ 案①より部材が増える。	△	
採否	×		○	

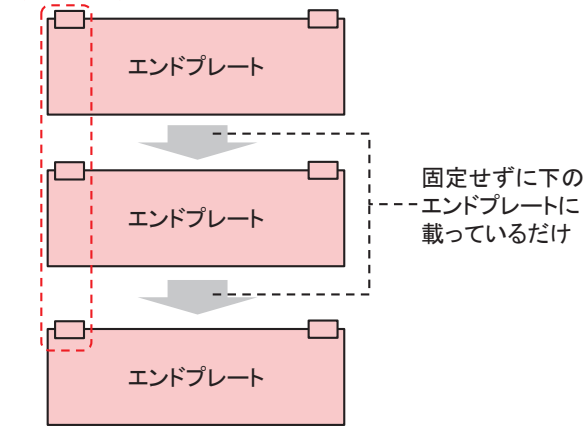


つなぎ材(プレート)とエンドプレートの接続詳細(③の詳細)



エンドプレートの上部にのみ、つなぎ材(プレート)が溶接されており、このつなぎ材(プレート)は、上のエンドプレートと固定されておらず、接触しているのみである。

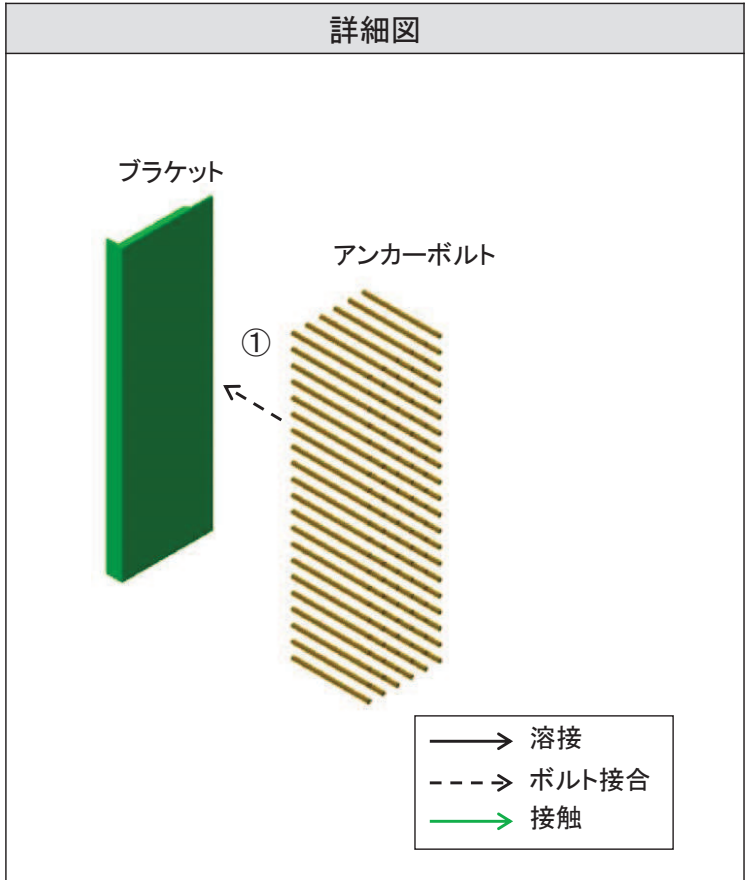
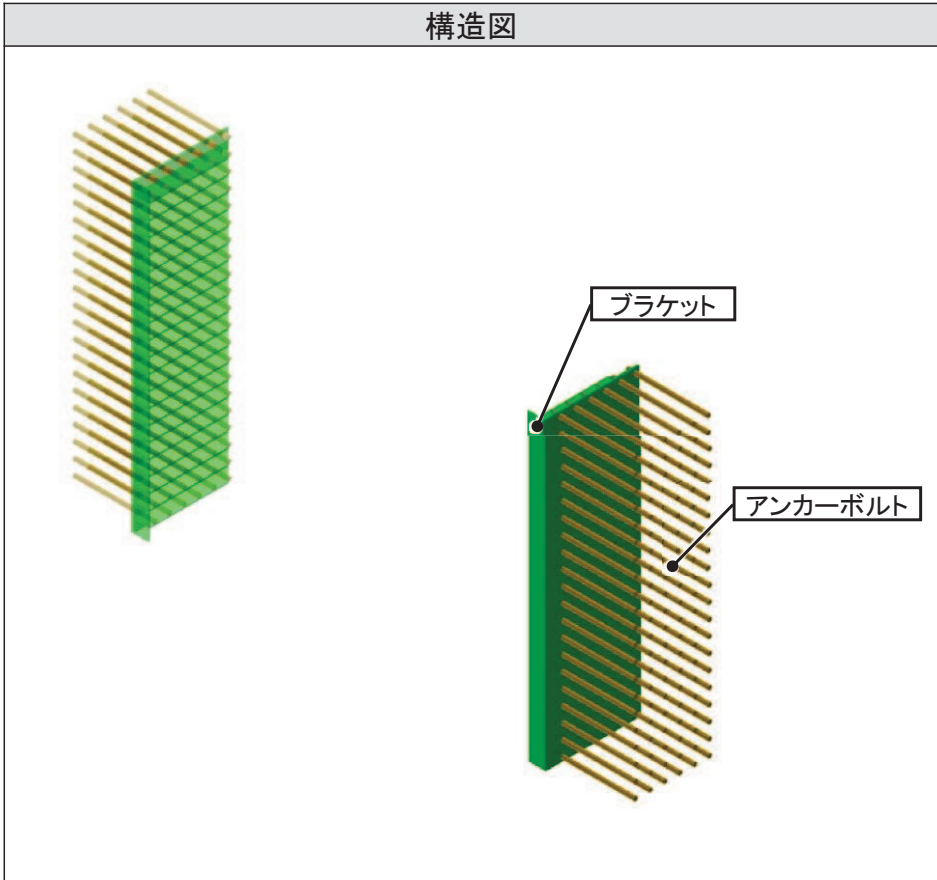
つなぎ材(プレート)



エンドプレート同士の接続イメージ

接合方法詳細

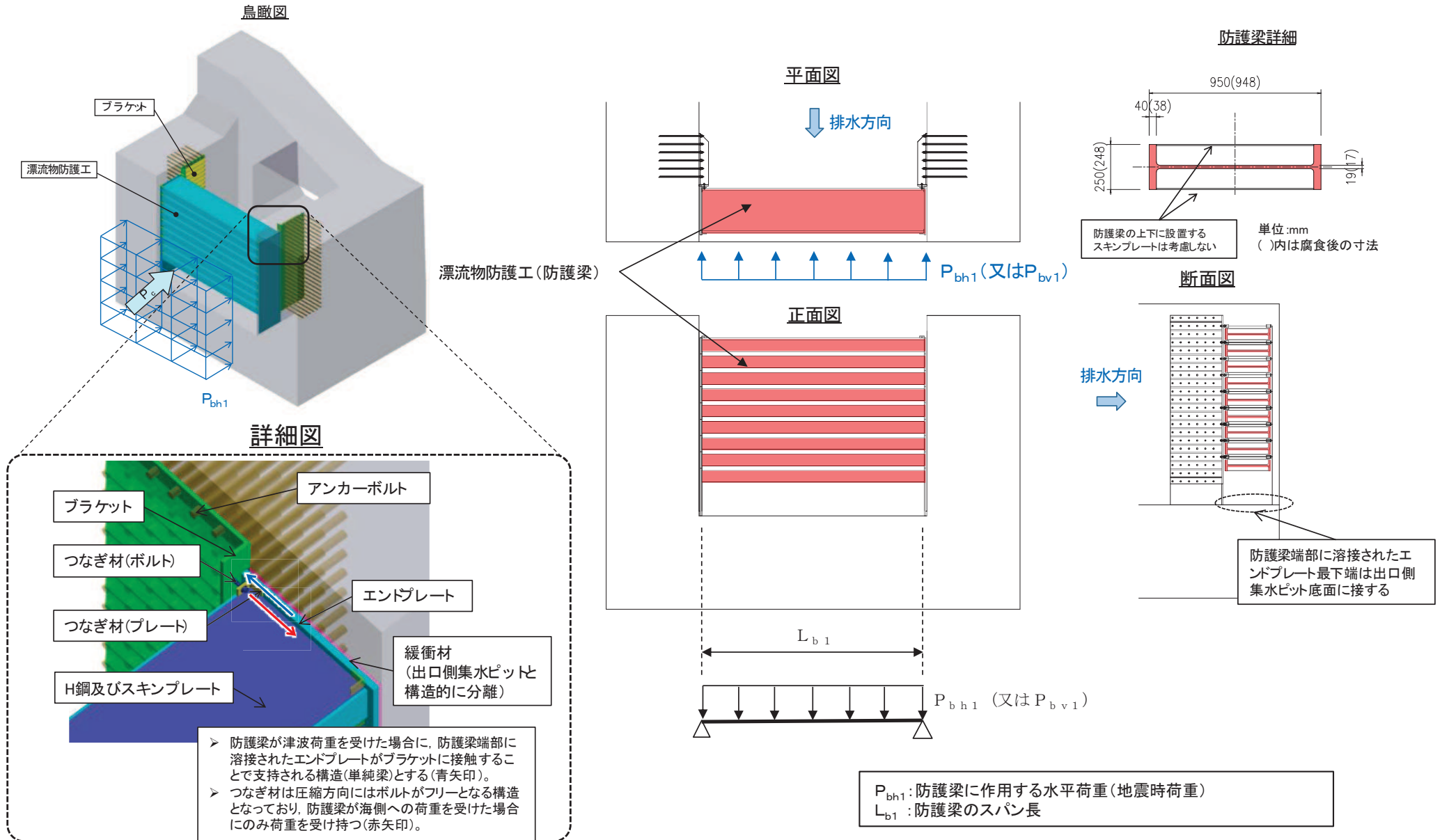
番号	詳細
①	H鋼とスキンプレートは溶接にて接合する。
②	H鋼とエンドプレートは溶接にて接合する。
③	エンドプレートはつなぎ材(プレート)の下半分の面を溶接にて接合する。
④	防護梁と出口側集水ピットは、構造的に分離させるため、緩衝材を介して接触させる。
⑤	防護梁間(エンドプレート間)は溶接やボルト接合等を行わず、接触にて重ねる。(全9段。最下段は出口側集水ピットに接するようにエンドプレートを延長する)



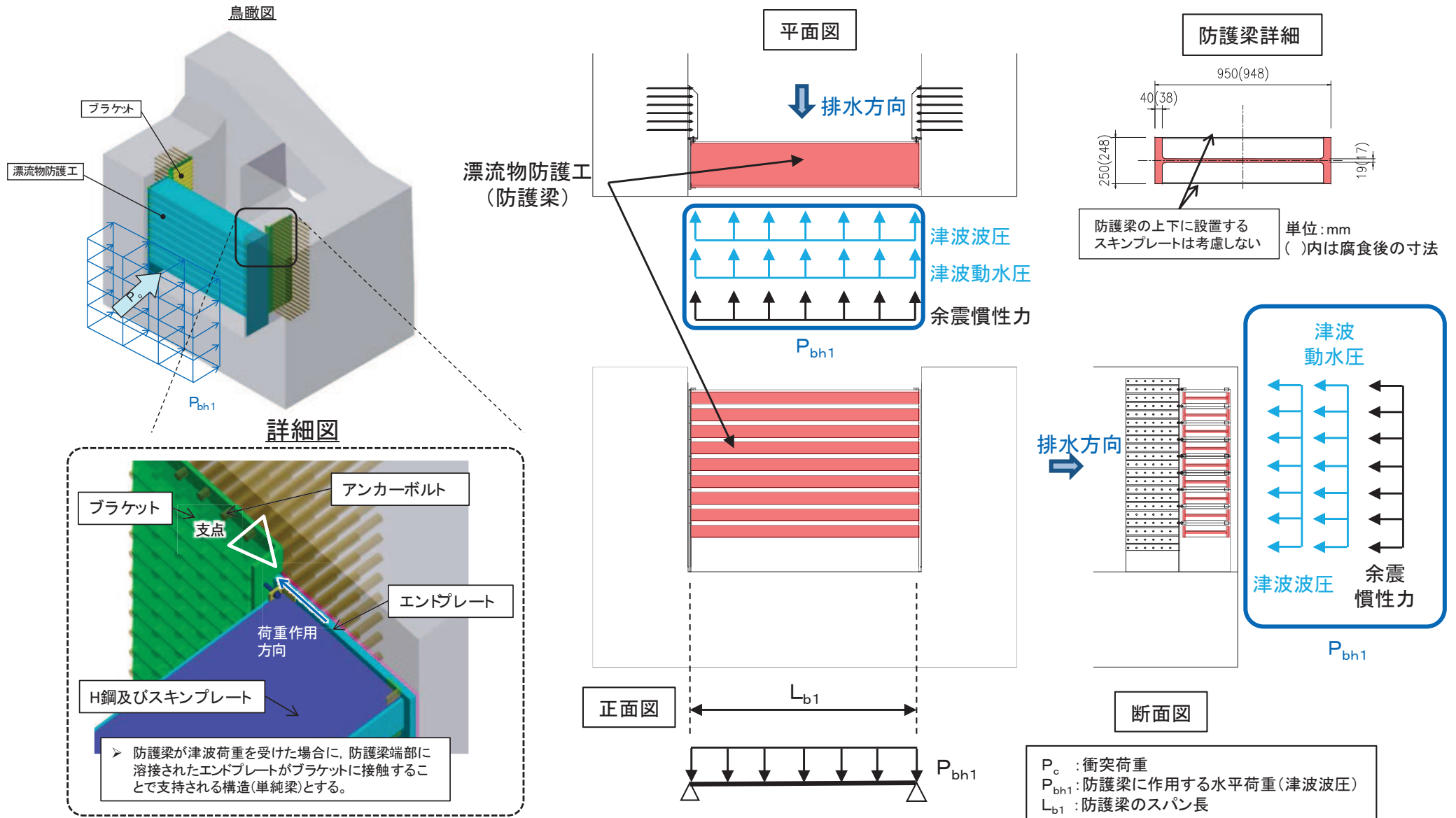
接合方法詳細

番号	詳細
①	ブラケットとアンカーボルトはボルトにて接合する

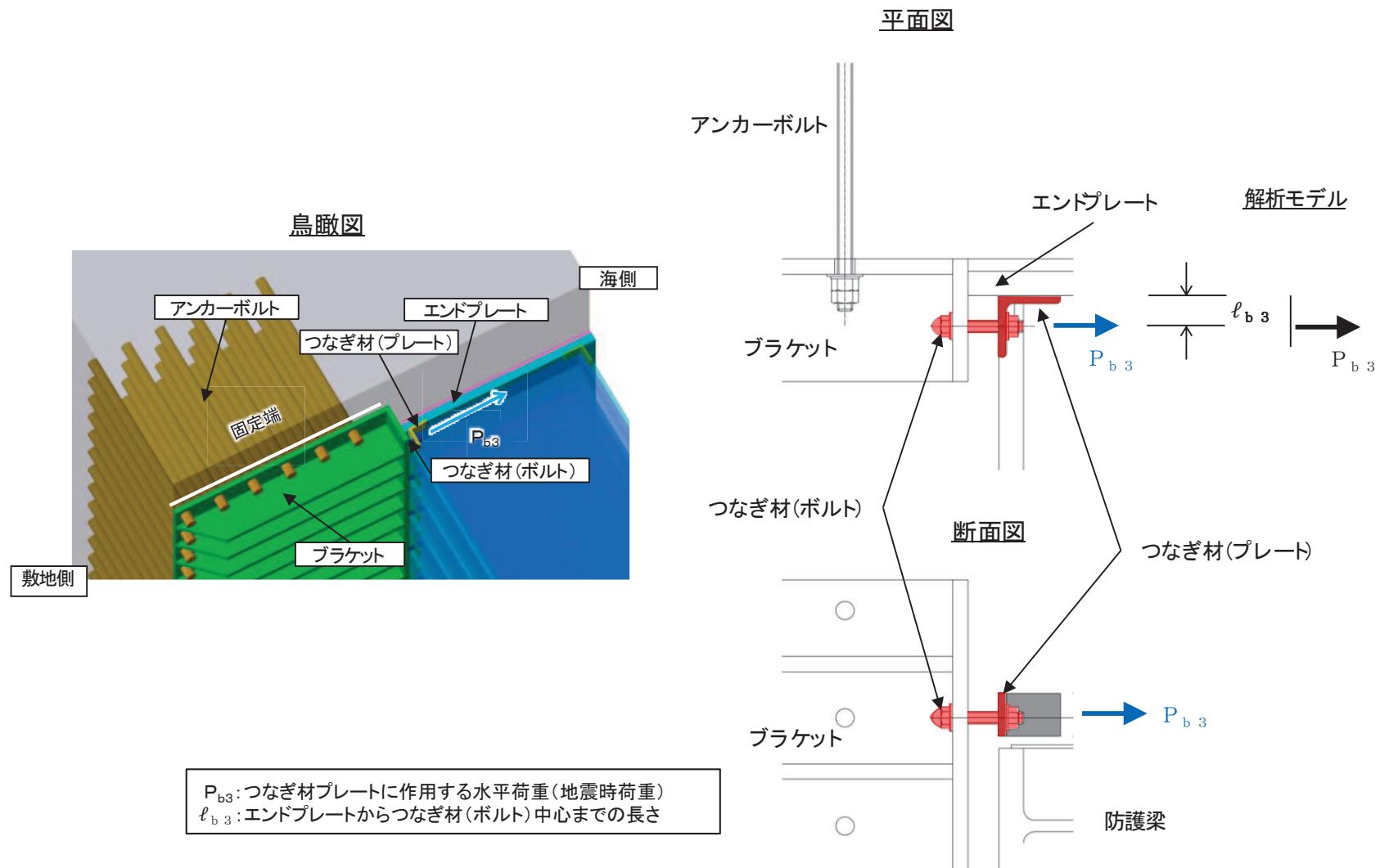
- 防護梁は、海側→山側方向への荷重作用時は両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持され、山側→海側方向への荷重作用時はつなぎ材(ボルト)を介してブラケットに支持されるため、単純梁としてモデル化する。



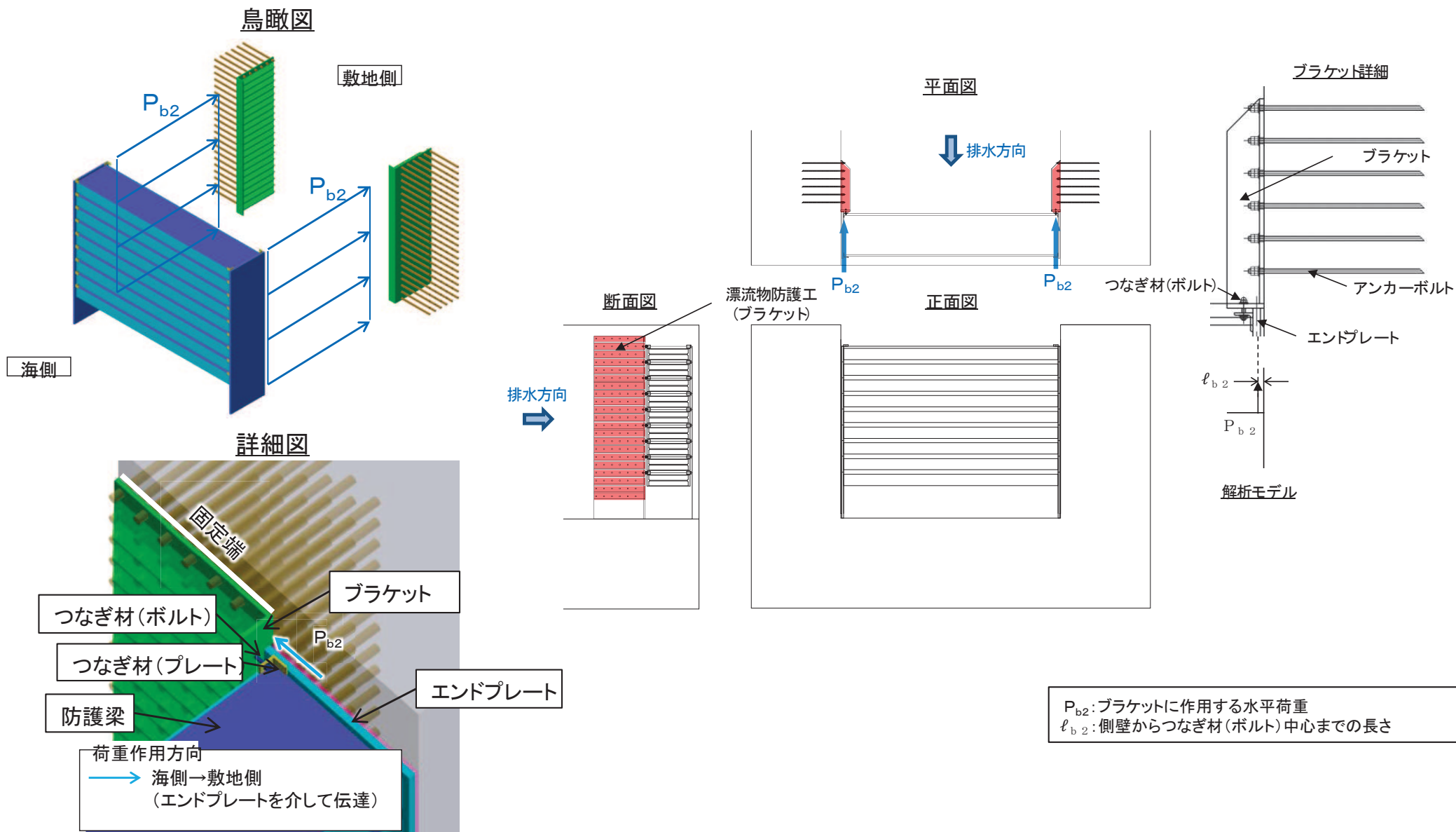
- 防護梁は、両端のエンドプレートがブラケットに接触し支持されるため、単純梁としてモデル化する。
- 評価対象の防護梁に作用する津波波圧は、台形の分布荷重となるが、保守的に漂流物防護工の下端に作用する津波波圧を等分布荷重として考慮する。



- つなぎ材(プレート)は、エンドプレートに溶接されていることから、エンドプレートを固定端とした片持ち梁でモデル化する。
- つなぎ材(ボルト)は、山側→海側への荷重に対して、ボルトに生じる引張力の照査を行う。

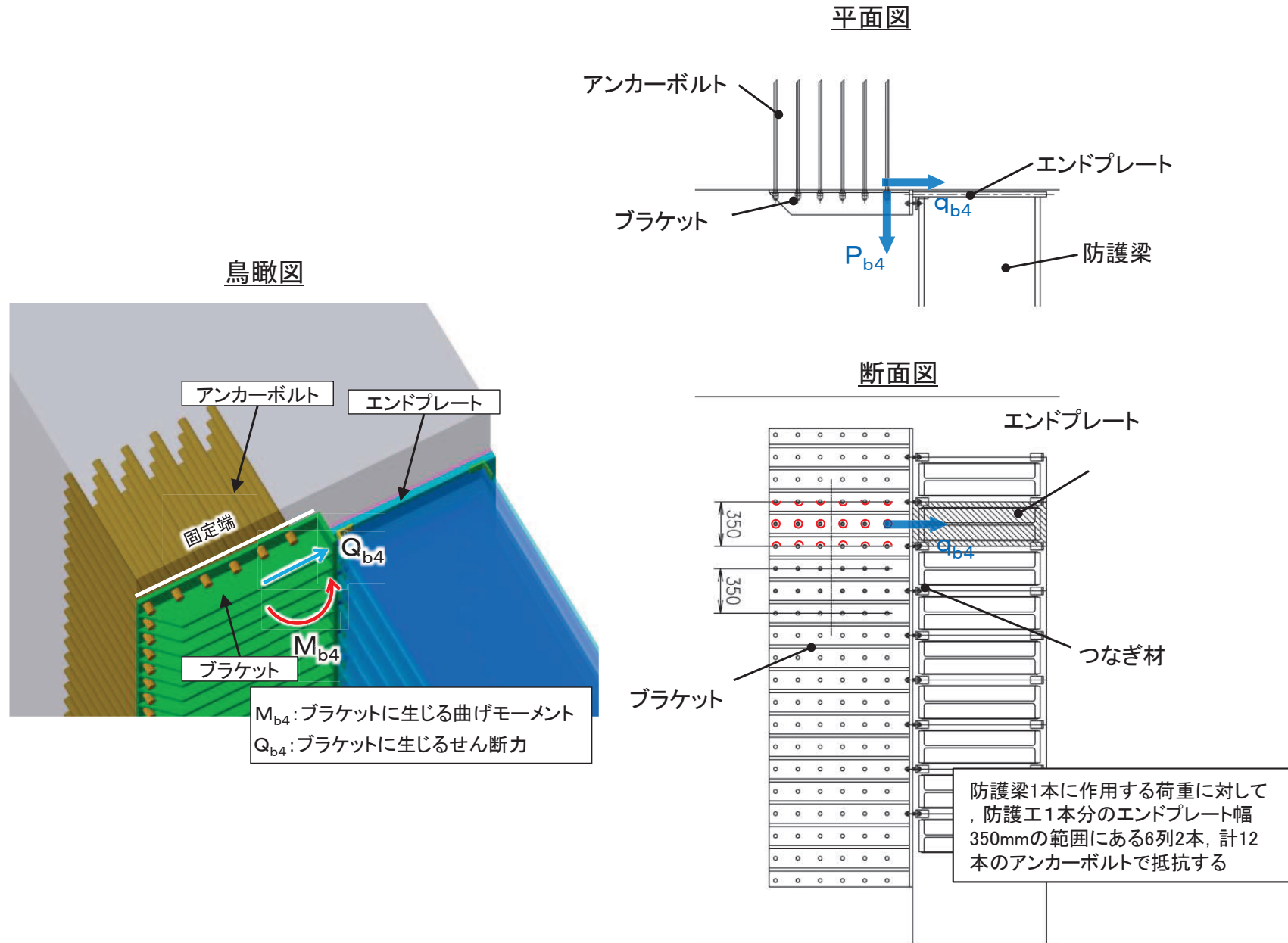


- ▶ ブラケットは、出口側集水ピット側壁に埋め込まれたアンカーボルトを固定端として支持される構造であることから、片持ち梁としてモデル化する。

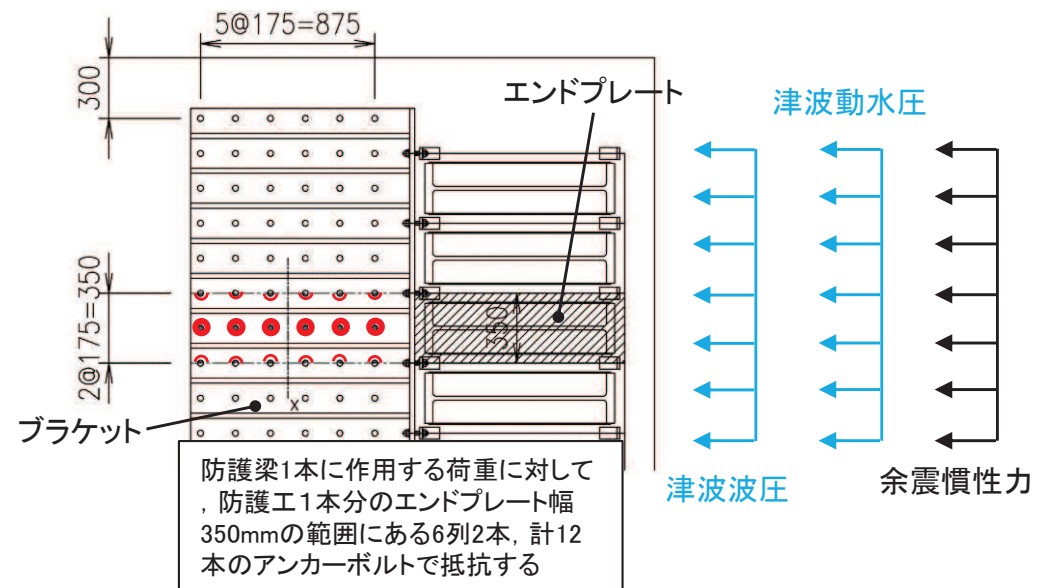
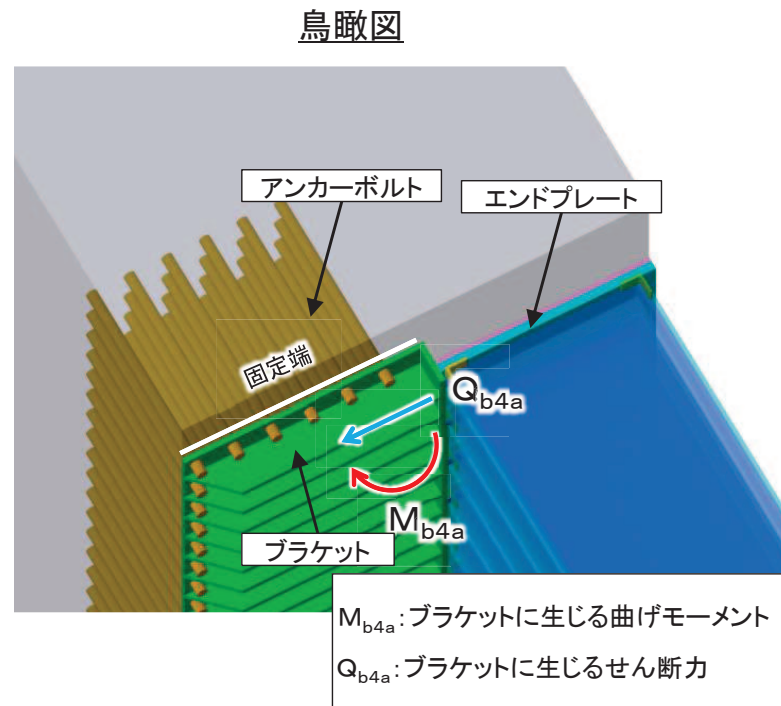


P_{b2} : ブラケットに作用する水平荷重
 l_{b2} : 側壁からつながり材(ボルト)中心までの長さ

- アンカーボルトは、ブラケットに発生した曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



- アンカーボルトは、ブラケットに発生した曲げモーメント及びせん断力に対して照査を行う。



- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の耐震評価結果を下表に示す。
- 漂流物防護工に発生する応力は許容限界以下であることを確認した。

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の耐震評価結果

部材		地震力方向	材質	応力成分	発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)
地震時	防護梁	水路縦断方向 鉛直方向	SM570	曲げ応力度	41	382	0.11
				せん断応力度	2	217	0.01
				合成応力度	0.02	1.2	0.02
				二軸応力	0.02	1.2	0.02
	ブラケット	水路縦断方向	SS400	曲げ応力度	111	210	0.53
	つなぎ材 (プレート)	水路縦断方向	SM570	曲げ応力度	117	382	0.31
				せん断応力度	11	217	0.06
		合成応力度		0.10	1.2	0.09	
		水路横断方向		せん断応力度	20	217	0.10
	アンカー ボルト	水路縦断方向	SD345	応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 (a/b)
				引張	1	105	0.01
				せん断	2	85	0.03
				合成	0.01	1.2	0.01

- 屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)に設置する漂流物防護工の余震重畳時の強度評価結果を下表に示す。
- 漂流物防護工に発生する応力は許容限界以下であることを確認した。

屋外排水路逆流防止設備(防潮堤北側)のうち漂流物防護工の強度評価結果

部材	材質	応力成分	余震重畳時			
			発生応力 a(N/mm ²)	許容応力 b(N/mm ²)	照査値 (a/b)	
余震 重畳時	防護梁	曲げ応力度	35	382	0.10	
		せん断応力度	20	217	0.10	
		合成応力度*	0.02	1.2	0.02	
	ブラケット	曲げ応力度	1	210	0.01	
		せん断応力度	6	120	0.05	
		合成応力度*	0.01	1.2	0.01	
	アンカーボルト	SD345	応力成分	発生値 a(kN)	許容値 b(kN)	照査値 a/b
			引張	5	105	0.05
			せん断	25	85	0.30
			合成*	0.09	1.2	0.08

注記*: 同じ荷重条件の曲げ応力度及びせん断応力度から算出する。